



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

TREBALL FINAL DE MÀSTER

VALIDACIÓ DE LA TIPOGRAFIA OPTOTÍPICA_2

ÀURIA COLLELL CORTACANS

DIRECTORS: MONTSERRAT TÀPIAS ANTON I MIQUEL RALLÓ
CAPDEVILA
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

22/06/2017



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

La Sra. Montserrat Tàpias Anton i el Sr. Miquel Ralló Capdevila, com a directors del treball,

CERTIFIQUEN

Que la Sra. Àuria Collell Cortacans ha realitzat sota la seva supervisió el treball *Validació de la tipografia Optotipica_2* que es recull en aquesta memòria per optar al títol de màster en Optometria i Ciències de la Visió.

I per a què consti, signem aquest certificat.

Sra. Montserrat Tàpias Anton

Directora del TFM

Sr. Miquel Ralló Capdevila

Director del TFM

Terrassa, 07 de juny de 2017



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

VALIDACIÓ DE LA TIPOGRAFIA OPTOTÍPICA_2

RESUM

Clínicament, l'agudesia visual es defineix com la capacitat de reconèixer formes o objectes o la seva orientació. Matemàticament, es defineix com l'inversa de l'angle de resolució del detall més petit de l'objecte que pot ser percebut. L'anell de Landolt és l'optotip estàndard per a la mesura de l'agudesia visual en la majoria de països d'Europa. Sigui quin sigui l'optotip que es vol desenvolupar per aquesta mesura, ha de ser calibrat enfront a l'anell de Landolt.

L'objectiu de l'estudi és averiguar l'equivalència entre la tipografia Optotípica_2 i l'estàndard, seguint les recomanacions per a la mesura estàndard de l'agudesia visual del Comitè Internacional d'Ofthalmologia (ICO 1984), així com les de la norma UNE-EN ISO 8596:2009.

S'ha avaluat l'agudesia visual monocular a 13 subjectes d'edats compreses entre 18 i 35 anys, en condicions fotòpiques i amb optotips d'alt contrast. Ambdós grups (anell de Landolt i Optotípica_2) de dimensions 5s x 5s, han estat presentats a una distància de 5 metres.

El punt d'igualació subjectiva (PIS) per a l'anell de Landolt és de $0,6724 \pm 0,116$ unitats logarítmiques, mentre que el de la nova tipografia, $0,6127 \pm 0,1616$. Entre aquests valors hi ha una diferència de $0,0598 \pm 0,116$ unitats logarítmiques.

Amb aquests resultats s'ha determinat que no es pot afirmar que a mides iguals, l'anell de Landolt i l'Optotípica_2 siguin equivalents, per a la mostra. No obstant, no hi ha motius per descartar l'equivalència a nivell de població, per a una mesura estandarditzada de l'agudesia visual.



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

VALIDACIÓN DE LA TIPOGRAFÍA OPTOTIPICA_2

RESUMEN

Clínicamente, la agudeza visual se define como la capacidad de reconocer formas u objetos o su orientación. Matemáticamente, se define como la inversa del ángulo de resolución del detalle crítico del objeto que puede ser percibido. El anillo de Landolt es el optotipo estándar para la medida de la agudeza visual. Sea quien sea el optotipo que se quiera desarrollar para esta medida, tiene que ser calibrado frente al anillo de Landolt.

El objetivo del estudio es averiguar la equivalencia entre la tipografía Optotipica_2 i el estándar, siguiendo las recomendaciones para una medida estándar de la agudeza visual del Comité Internacional de Oftalmología (ICO 1984), así como las de la norma UNE-EN ISO 8596:2009.

Se ha evaluado la agudeza visual monocular a 13 sujetos de edades comprendidas entre 18 y 35 años, en condiciones fotópicas y con optotipos de contraste elevado. Ambos grupos (anillo de Landolt y Optotipica_2) de dimensiones 5s x 5s, han sido presentados a 5 metros de distancia.

A partir de las respuestas de cada ojo de los participantes, se originó una función psicométrica a partir de la cual sacamos los puntos de igualación subjetiva (PIS). Para el anillo de Landolt fue de $0,6724 \pm 0,116$ unidades logarítmicas, mientras que el de la nuevatipografía, $0,6127 \pm 0,1616$, con una diferencia entre ambos de $0,0598 \pm 0,116$ unidades logarítmicas.

Como conclusión se ha determinado que no se puede afirmar que, a medidas iguales, el anillo de Landolt y la Optotipica_2 sean equivalentes, para la muestra. No obstante, no hay motivos para descartar del todo la equivalencia a nivel de población, para una medida estandarizada de la agudeza visual.



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

VALIDATION OF OPTOTIPICA_2 TYPOGRAPHY

SUMMARY

Clinically, visual acuity is defined as the recognition ability of shapes or objects or even their orientation. In maths, it is defined as an inverse of the angle of resolution of the smallest detail that can be detected. The Landolt ring is the standard optotype for the visual acuity measurement in most of the European countries. So, for all new optotypes to develop, they have to be validated against Landolt ring.

The purpose of this study is to find out if the new typography called Optotipica_2 is equivalent to the gold standard, following the recommendations for the visual acuity measurement standard of the International Council of Ophthalmology (ICO 1984) and the UNE-EN ISO 8596:2009.

The visual acuity monocular has been evaluated to 13 subjects (ages between 18 and 35 years), in photopic conditions with high contrast optotypes. Both groups (Landolt ring and Optotipica_2) in cases of 5s by 5s, have been presented in a 5 meters distance.

For the Landolt ring, the equality subjective point is $0,6724 \pm 0,116$ logarithmic units and for the new typography, $0,6127 \pm 0,1616$ logarithmic units. Between those values, there is a difference of $0,0598 \pm 0,116$ logarithmic units.

The results have shown that we can't consider Optotipica_2 typography and Landolt ring as equivalents in our sample. But there aren't enough reasons to determine that they aren't equivalents in population level, for the standard visual acuity measurement.

AGRAÏMENTS

Un treball com aquest no només és producte de l'esforç personal de l'estudiant, sinó que també es necessita l'ajuda de moltes persones. Amb aquestes línies voldria mostrar el meu agraïment a totes elles.

Als directors del projecte Montserrat Tàpias i Miquel Ralló, per deixar-me formar part del projecte i ajudar-me tant.

A l'tipògraf Andreu Balius i al professor Francesc Salvadó, per la seva col·laboració en l'elaboració de les tipografies que apareixen a la feina.

I finalment, però no menys important, a la meva família, a la meva parella i als meus amics, per la paciència que han tingut amb mi durant aquest temps.

TAULA DE CONTINGUTS

1. INTRODUCCIÓ.....	1
1.1. Especificació de l'agudesia visual.....	2
1.2. Disseny de les cartes d'optotips logMAR	4
1.3. Cartes d'optotips per a visió propera.....	5
1.4. Visual Acuity Measurement Standard- ICO 1984 [9].....	8
1.5. Norma UNE-EN ISO 8596:2009.....	15
2. TREBALLS PREVIS	17
3. METODOLOGIA	25
3.1. Optotip d'estudi. Tipografia Optotipica_2.	25
3.2. Elaboració de presentacions.....	26
3.3. Tractament de dades. Avaluació de la freqüència d'encert.....	40
4. RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	44
5. CONCLUSIONS.....	48
6. REFERÈNCIES I ENLLAÇOS BIBLIOGRÀFICS	49

1. INTRODUCCIÓ

Clínicament, l'agudeses visual (AV) es defineix com la capacitat de reconèixer formes o objectes, o la seva orientació, és a dir, el mínim cognoscible. Matemàticament, es defineix com l'inversa de l'angle de resolució del detall més petit de l'objecte que pot ser percebut. La mesura de l'AV és una de les pràctiques més habituals que es duen a terme en centres optomètrics i oftalmològics.

$$AV = \frac{1}{\alpha} \quad (1)$$

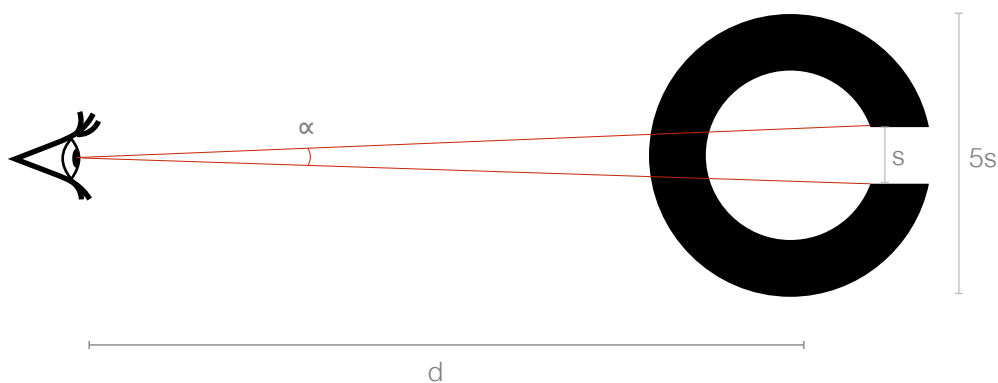


Figura 1. Representació gràfica de la definició d'agudeses visual, on α és l'angle de resolució del detall més petit (s), $5s$ és la mida total de l'objecte i d és la distància de l'observador a l'optotip.

L'anell de Landolt, reconegut en la pràctica clínica per a l'avaluació de l'agudeses visual, és l'únic símbol estandarditzat desenvolupat per l'oftalmòleg Edmund Landolt, l'any 1888 [1]. Aquest optotip consisteix en un anell "trecat" que es pot presentar en 8 posicions diferents, segons la direcció en què es troba l'obertura (esquerra, dreta, amunt, avall i en les quatre diagonals) [2].

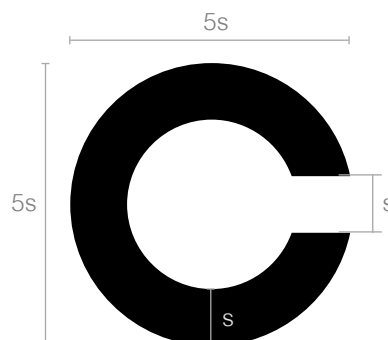


Figura 2. Anell de Landolt de dimensions $5s \times 5s$, essent s el gruix del traç i a la vegada la mida del detall crític de l'optotip.

L'anell de Landolt és l'optotip estàndard per a la mesura de l'agudesa visual en la majoria de països d'Europa. Va ser estandarditzat, juntament amb els procediments de mesura, per la German DIN, com a DIN 58220, que actualment és la UNE-EN ISO 8596:2009 [3].

1.1. Especificació de l'agudesa visual

L'AV es pot escriure en diverses notacions o escales, les més reconegudes són: la fracció de Snellen, l'escala decimal, el mínim angle de resolució (MAR) i el logaritme del mínim angle de resolució (logMAR).

La fracció Snellen expressa la mida angular de l'optotip, especificant la distància de presentació del test (en metres o en peus) i la distància a la que el detall crític de l'optotip subtendeix un angle d'1 minut d'arc.

$$AV_{Snellen} = \frac{d_{obs}}{d_1} \quad (2)$$

Per exemple, un subjecte amb $AV = 20/200$ significa que l'optotip més petit que és capaç de reconèixer a 20 peus seria reconegut a 200 peus per un subjecte amb AV estàndard ($AV=20/20$).

L'escala decimal és la resolució de la fracció de Snellen. Una AV de 20/200 en fracció Snellen és una AV de 0,1 en escala decimal. Matemàticament, s'expressa també com:

$$AV_{decimal} = 2,9 \cdot 10^{-4} \frac{d}{s}, \quad (3)$$

on d és la distància d'observació i s és la mida del detall crític de l'optotip.

El mínim angle de resolució (MAR) representa la mida angular del detall crític s de l'optotip $5s$ que és capaç de resoldre el subjecte. Per una AV de 20/200 en fracció Snellen, el MAR és 10 minuts d'arc. Matemàticament, es defineix com l'inversa del valor decimal de l'AV. Aquest valor no s'utilitza gaire, el seu logaritme (logMAR) en canvi, sí. La seva definició matemàtica és la següent:

$$\log MAR = \log \alpha = \log \frac{1}{AV} = \log AV^{-1} \rightarrow \log MAR = -\log AV \quad (4)$$

$$10^{\log MAR} = 10^{-\log AV} = 10^{\log AV^{-1}} = AV^{-1} = \frac{1}{AV} \quad (5)$$

$$AV = 10^{-\log MAR} \quad (6)$$

Seguint amb l'exemple anterior, l'AV=0,1 en escala decimal, s'expressa en escala logMAR com a 1,0. Si es tractés d'una AV=1,0 en escala decimal, l'equivalent logMAR seria 0. La taula 1 mostra les equivalències d'AV de les escales Snellen (en metres i en peus), decimal i logMAR.

Snellen (m)	Snellen (peus)	Decimal	LogMAR
6/60	20/200	0,10	1,0
6/48	20/160	0,125	0,9
6/38	20/125	0,16	0,8
6/30	20/100	0,20	0,7
6/24	20/80	0,25	0,6
6/19	20/63	0,32	0,5
6/15	20/50	0,40	0,4
6/12	20/40	0,50	0,3
6/9,5	20/32	0,63	0,2
6/7,5	20/25	0,80	0,1
6/6	20/20	1,00	0
6/4,8	20/16	1,25	-0,1
6/3,8	20/12,5	1,60	-0,2
6/3	20/10	2,00	-0,3

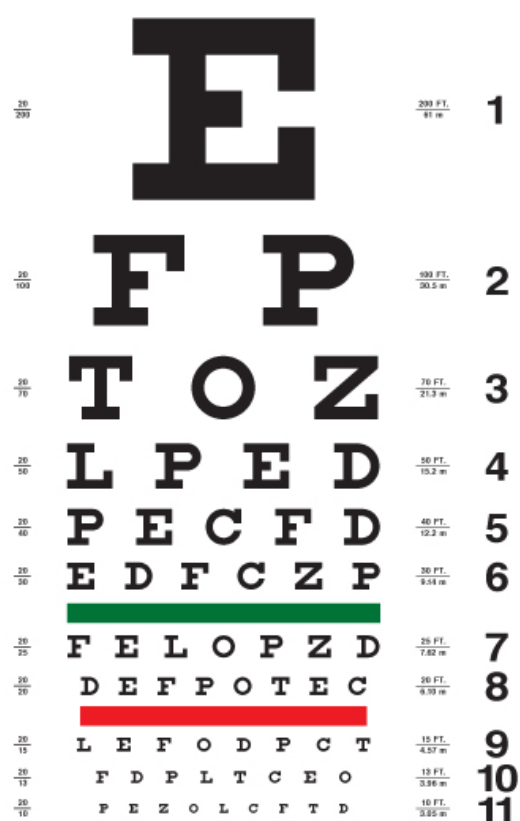
Taula 1. Escala logMAR i les seves equivalències en escala decimal i Snellen (en metres i en peus).

1.2. Disseny de les cartes d'optotips logMAR

La carta d'optotips de Snellen és reconeguda i utilitzada en la pràctica optomètrica. No obstant, s'han posat en dubte les seves característiques i les d'optotips semblants. L'escala Snellen no conté un interval d'agudeses uniforme (fig. 3(a)) i el nombre de lletres a cada línia pot donar lloc a una legibilitat diferent, degut als efectes d'aglomeració (fig. 3(b)) [4,5].

Escala Snellen	Equivalent logMAR	Salts de mida logMAR
20/200	0,1	0,3
20/100	0,7	0,2
20/70	0,5	0,2
20/50	0,4	0,1
20/40	0,3	0,1
20/30	0,2	0,1
20/25	0,1	0,1
20/20	0	0,2
20/13	-0,2	0,1
20/10	-0,3	

a



b

Figura 3. a) Taula de rang d'agudeses visuals de la carta d'optotips de Snellen, amb el seu equivalent logMAR i els salts de mida en logMAR d'una línia d'AV a la següent. b) Exemple de carta d'optotips de Snellen [5].

Una progressió geomètrica de mides d'una carta d'optotips explora millor tot el rang d'agudeses. Això s'aconsegueix amb una carta de format Bailey-Lovie [6]. Aquesta presenta una progressió de mides de 0,1 unitats logarítmiques i disposa de cinc optotips per línia, amb un espaiat uniforme entre ells i entre files. Així cada optotip té assignat un valor de 0,02 unitats logarítmiques.

El disseny Bialek-Lovie va sorgir de la necessitat de crear cartes d'optotips seguint un mateix patró i així poder fer una mesura estandarditzada de l'agudeses visual. Els principis que van introduir eren: l'ús de lletres de mides 5s d'alçada x 4s d'amplada, amb gruix de traç uniforme; 5 lletres per línia, amb un espai d'amplada 4s entre lletra i lletra, i entre línia i línia, un espaiat igual a l'alçada 5s de la línia immediatament inferior (fig. 3); l'ús de l'escala logMAR amb un rang d'agudeses des de 1,0 logMAR fins a -0,1 logMAR (amb una progressió geomètrica de 0,1 unitats logarítmiques) a una distància d'observació de 6 metres.

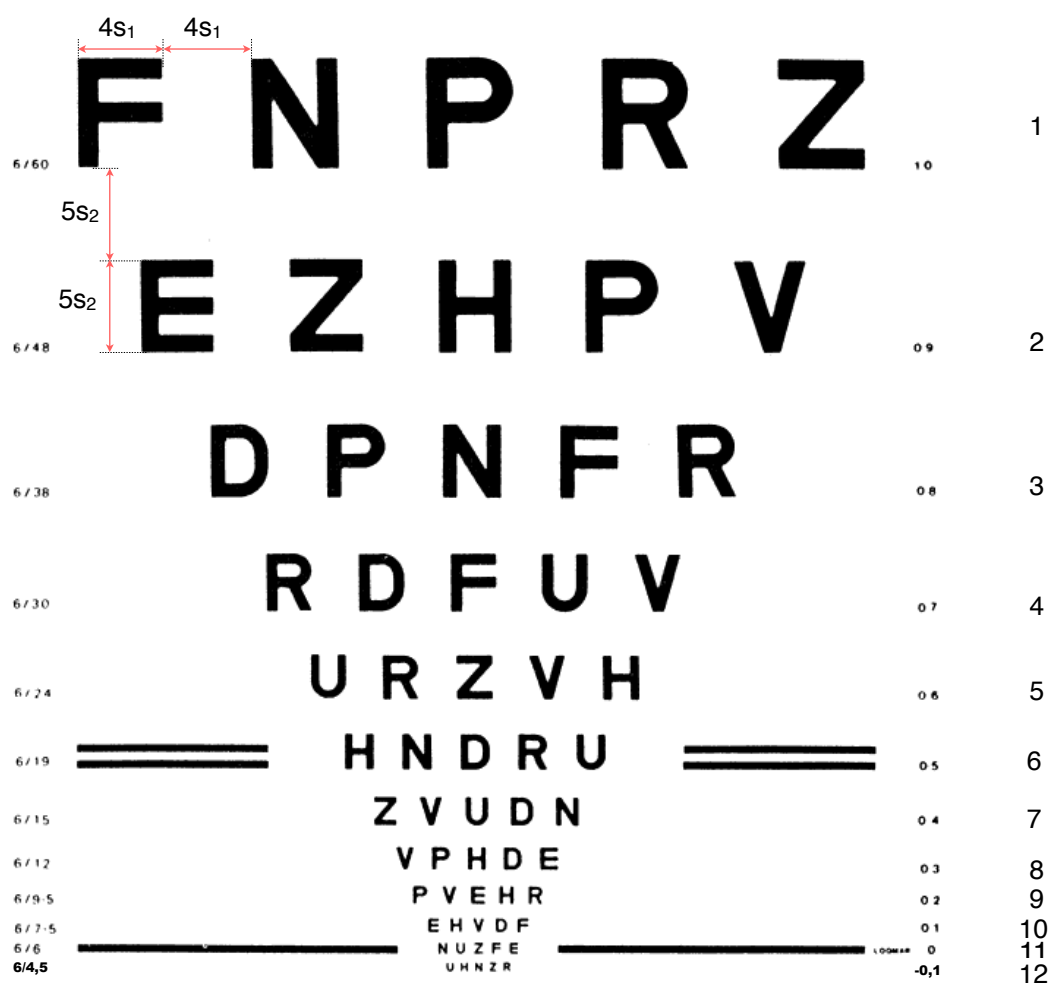


Figura 4. Carta d'optotips logMAR [7].

1.3. Cartes d'optotips per a visió propera

La majoria de tests utilitzats en la pràctica clínica, per a visió propera, són cartes de lectura que tenen el seu equivalent en AV. En lloc d'utilitzar optotips, generalment l'AV es mesura amb aquestes cartes. Habitualment, estan escrites amb tipografies clàssiques de diverses mides com per exemple la Times New Roman i són

adequades per avaluar l'habilitat lectora en visió propera, però no l'agudesia visual de prop. Així es va afirmar en un estudi realitzat a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa (FOOT) [8], on es va investigar la validesa de tres tipografies diferents, entre elles la ja mencionada Times New Roman, per a la mesura de l'AV. En aquest estudi es va crear una nova tipografia, anomenada Optotipica, amb la pretensió de mesurar l'habilitat lectora i l'AV.

Amb l'Optotipica, a l'hora de dissenyar els dos alfabetes (majúscules i minúscules) seguint ambdós les regles d'estandardització marcades per la ISO 8695:2009 [3], es va trobar que era impossible. Es va optar doncs, per dissenyar l'alfabet de majúscules com a optotips i construir un alfabet de minúscules que l'acompanyés, però sense mantenir les proporcions que s'especifica. Fent-ho d'aquesta manera, les minúscules quedaven molt gruixudes i la seva lectura es feia difícil (fig. 4(a)).

Com que la finalitat era el disseny de cartes de lectura, on la presència de minúscules és absolutament predominant, si es volia poder mesurar l'habilitat lectora i l'AV al mateix temps, calia que estiguessin dissenyades segons els estàndards. Per tant, en la segona versió de la tipografia (Optotipica_2) es va optar per fer el contrari: es va dissenyar un alfabet de minúscules seguint les proporcions de l'anell de Landolt (caixa de 5s x 5s) i es va construir un alfabet de majúscules amb el mateix gruix de traç, però sense conservar les esmentades proporcions. Aquesta versió és la que analitzem en aquest estudi.

La figura 4 mostra les imatges de l'Optotipica (fig. 4(a)) i l'Optotipica_2 (fig. 4(b)). La diferència més notable entre una i l'altra és el gruix de traç. A la primera, l'alfabet de majúscules és el que manté les proporcions d'optotip estàndard, tot i que la capsa de les majúscules és 4s x 5s. A la segona, l'estàndard és l'alfabet de minúscules, en capses de 5s x 5s.

**ABCÇDEFGHIJKLMN
NOPQRSTUVWXYZ**

**abcçdefghijklmn
ñopqrstuvwxyz**

0123456789

a) Optotipica

**ABCÇDEFGHIJKLMN
ÑOPQRSTUVWXYZ**

**ñopqrstuvwxyz
abcçdefghijklmn**

0123456789

b) Optotipica_2

Figura 5. a) Alfabet de majúscules, minúscules i números de l'Optotipica. b) Alfabet de majúscules, minúscules i números de l'Optotipica_2.

Com a objectiu principal, es pretén validar la tipografia Optotipica_2 en front de l'estàndard, l'anell de Landolt. Per això s'han seguit les recomanacions del Comitè Internacional d'Oftalmologia [9], així com les de la norma UNE-ES ISO 8596:2009 [3].

1.4. Visual Acuity Measurement Standard- ICO 1984 [9]

Qualsevol tipografia, nombre, objecte o figura que es vulgui utilitzar com a eina de mesura de l'agudesia visual ha de ser validada en front a l'optotip estàndard. Per això cal seguir les recomanacions del Consilium Ophthalmologicum Universale i la norma ISO 8596:2009 [3], basada en el primer. Fins avui, l'estàndard per excel·lència és l'anell de Landolt. Fent doncs una correlació de resultats entre l'anell i la nostra font es decidirà si són equivalents.

Aquest document amplia un anterior recomanació sobre l'estandardització de l'agudesia visual del Consell Internacional d'Oftalmologia de l'any 1978.

El Comitè de Funcions Visuals del Consell Internacional d'Oftalmologia va ser qui va preparar aquest document, juntament amb professionals de l'optometria. Van considerar que, des que ambdós gremis (oftalmòlegs i optometristes) mesuren l'agudesia visual en un entorn clínic, era preferible que seguissin tots els mateixos estàndards.

Un estàndard pretén ser una entitat estable, però l'aparició de nous estudis i nous desenvolupaments fa que s'hagin de corregir alguns punts o rellevar deficiències, si és que n'hi ha. Així que un estàndard pot ser evolutiu i ha de revisar-se periòdicament. Aquest document doncs, es revisa cada quatre anys i el Comitè de Funcions Visuals es mostra obert a qualsevol suggeriment.

Visual Acuity measurement Standard es limita a la mesura clínica de l'agudesia visual, deixant de banda la seva interpretació.

Abans d'exposar les recomanacions del Comitè cal fer una discussió d'alguns principis útils per el nostre estudi.

1.4.1. Optotips de referència

Com que és pràcticament impossible eliminar la diversitat de lletres, dígit i altres símbols utilitzats en les cartes d'AV, resulta necessari crear una pauta perquè l'avaluació de l'AV amb aquesta varietat d'optotips sigui la mateixa. L'ICO 1984

recomana que qualsevol lletra, nombre o símbol que es vulgui utilitzar per avaluar l'agudesa visual, sigui calibrat segons l'optotip de referència, l'anell de Landolt.

L'anell de Landolt és un cercle interromput, on el gruix de traç i l'amplada de l'excletxa és una cinquena part (s) de la mida total de l'anell (5s). Les dues vores de la ruptura de l'anell són paral·leles i sense traç terminal. L'avantatge d'aquest símbol és que presenta només un detall crític, fàcilment mesurable, que representa l'única diferència entre les seves diverses presentacions (generalment quatre o vuit orientacions)

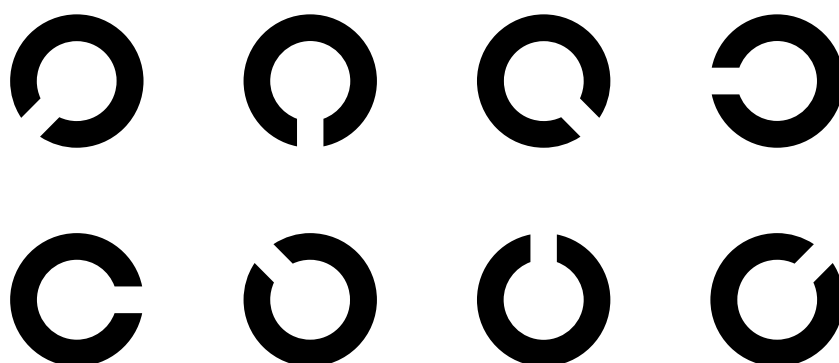


Figura 6. Anell de Landolt en les vuit posicions diferents.

1.4.2. Selecció dels Optotips clínics

El test de l'anell de Landolt presenta algunes limitacions. En tractar-se d'un optotip únic, si la ruptura es presenta en qualsevol direcció que no sigui cap de les quatre bàsiques (amunt, avall, dreta, esquerra) és més difícil de respondre pel pacient, sobretot si són nens. Quan es tracta de múltiples optotips en línia, els pacients poden confondre's no començant pel principi de la línia, llegir del revés quan s'espera que llegeixi d'esquerra a dreta o repetir els que ja s'han dit. Errors de comunicació d'aquest tipus poden portar a estimacions errònies d'AV.

Per a l'ús clínic, lletres o nombres estan generalment acceptats. Ens són familiars, l'examinador pot aprendre's la carta de memòria i pot fàcilment detectar errors. Les instruccions que requereix el pacient són mínimes. L'inconvenient més important és que moltes lletres tenen múltiples elements del detall crític que no són de la mateixa

mida i que poden produir confusió. Les diferències entre grups d'optotips es compensen mitjançant la calibració en front a l'estàndar establert.

1.4.3. Selecció de procediments de calibració

Es recomana fer la calibració utilitzant optotips aïllats. Aquest enfocament no és exactament comparable a la utilització d'un format de carta d'optotips. Però encara no hi ha cap investigació en curs sobre si la calibració es pot fer d'una manera alternativa i més vàlida. A l'espera de les investigacions, el Comitè recolza l'ús del format d'optotip únic per al procés de calibració.

1.4.4. Mesura estàndard d'agudes visual

A continuació passem a descriure els aspectes més rellevants d'una carta d'optotips per a la mesura estandarditzada de l'agudes visual.

☼ Objectiu de l'estàndard

L'objectiu d'aquest document és definir un mètode i unes condicions estandarditzats per a la mesura clínica de l'AV en condicions fotòpiques amb optotips d'alt contrast.

Aquest estàndard té la intenció de fomentar una major uniformitat en les proves d'AV com a part de la rutina d'exàmen visual. Tenint en compte la varietat d'optotips, així com la diversitat de presentacions, s'ha d'acceptar el fet que l'acompliment total amb un estàndar internacional pot ser difícil d'aconseguir.

☼ Definició d'agudes visual clínica

En l'entorn clínic el terme 'agudes visual' es referència a la capacitat del sistema visual de reconeixement de formes o objectes. El test d'agudes visual és l'eina de mesura d'aquesta capacitat. El nivell d'agudes visual s'hauria d'expressar com l'inversa de la mida angular del detall crític del test. Una de les ambicions al crear l'Optotipica_2 és el fet que el detall crític a ser reconegut fós el gruix de traç, això és precisament el que pretén averiguar aquest estudi.

L'agudesia visual avaluada amb l'anell de Landolt es basa en la detecció de l'obertura. Altres optotips, els quals s'han mostrat com a alternatives estàndards a l'anell de Landolt, sovint requereixen d'un judici més sofisticat que la simple detecció d'una escletxa o d'un element crític. En aquests casos el pacient ha d'utilitzar el reconeixement i la interpretació. Això significa que el llindar de resolució implícit en les mesures de reconeixement de lletres està influenciat per la familiaritat de l'optotip i per les habilitats de reconeixement i interpretació [10].

✿ **Progressió de mides dels optotips**

La progressió de mides de les cartes d'optotips hauria de ser en passos constants. Aquesta proporció és 1:1,2589, és a dir, passos de 0,1 unitats logarítmiques en base 10.

✿ **Espaiat entre optotips**

L'espai entre dos optotips no hauria de ser menor que la seva amplada. Es suggereix també que l'espai entre línies no hauria de ser menor que l'alçada dels optotips de la línia de mida més petita de les dues.

✿ **Nombre d'optotips per a cada mida.**

Es recomanen 5 optotips per a cada línia. La seva presentació hauria de ser el més diversificada possible i la seva ordenació, per atzar, Així s'evitaria la memorització dels optotips i també la seva posició, ja que si passés, això influiria en la resposta de l'observador, donant un valor d'agudesia visual erroni.

✿ **Distància de test**

No hi ha una distància concreta acceptada com estàndar. L'ICO 1984 suggereix una distància d'observació de 4 metres, tot i que també s'accepten avaluacions clíniques a 5 i 6 metres. Sistemes de mirall també són permesos.

☼ **Especificació de la mesura d'agudeses visual**

Hi ha diverses escales per indicar el valor d'agudeses visual, les més reconegudes són la fracció Snellen, l'escala decimal i l'escala logMAR. Per a objectius clínics (com per exemple en estudis on es mesura l'AV a pacients amb alguna patologia ocular), l'agudeses visual en escala logMAR és la més utilitzada, per les raons explicades en l'apartat 1.2.

☼ **Adaptació a la llum, Luminància i Contrast**

És convenient que es concedeixi al pacient un cert espai de temps per adaptar-se a la llum en l'entorn de la prova abans d'iniciar l'avaluació.

Els optotips proporcionats pels fabricants han de ser d'alt contrast (optotip negre sobre fons blanc) on la luminància del negre no excedeixi el 15% de la del camp circumdant blanc.

Per objectius clínics és preferible que la luminància no sigui menor de 80cd/m^2 . El nivell de luminància utilitzat s'ha d'especificar. Els nivells de luminància relativament baixos donen com a resultat mides de pupil·la més grans i reduïda profunditat de camp. Això és més adequat per a finalitats refractives.

En condicions de patologia, les condicions poden ser modificades. Alguns pacients necessiten més llum, altres menys.

☼ **Calibració d'Optotips Clínics enfront a l'Optotip de referència**

La calibració dels optotips clínics enfront a l'anell de Landolt és el punt clau. Dóna informació dels passos que s'han seguit en aquest estudi.

El propòsit del procediment de calibració és establir la correspondència numèrica entre el rendiment amb l'optotip de referència i el rendiment amb l'optotip clínic. Per això, és necessari obtenir la freqüència d'identificació en funció de la mida de lletra correcta en cadascun dels optotips.

L'àrea del test ha de tenir una àrea d'assaig i una àrea circumdant. L'àrea d'assaig ha de tenir uns 4° de diàmetre i la luminància hauria de ser almenys de 160cd/m². L'àrea circumdant ha de tenir aproximadament un diàmetre de 15°. Aquesta hauria de ser més fosca que l'àrea d'assaig (tot i que no s'especifica quant més fosca) i tan homogènia com sigui possible.

Pel que fa a la presentació del test, en el cas de l'anell de Landolt es pot escollir si s'utilitzen les 4 orientacions elementals o bé 8; les dues són acceptades. S'ha d'ensenyar un anell a cada presentació i l'ordre de les presentacions, dins d'una mateixa mida d'optotip a analitzar, ha de ser aleatori. Per als optotips clínics passa el mateix, s'ha de mostrar un optotip per presentació i aleatoriament. En cada sèrie de presentacions, utilitzant el mateix grup d'optotips, cada un d'ells s'ha de presentar el mateix nombre de vegades.

La gamma de mides de l'anell de Landolt i dels optotips de comparació han d'incloure una mida suficientment gran com per produir una freqüència de visió del 100%. La progressió de mides ha de ser de 0,05 unitats logarítmiques o menys fins que el rang de fracàs de resposta coincideixi amb el nivell d'encert per atzar. Cada optotip s'ha de presentar no més de 3 segons amb un període de 4 segons entre un optotip i el següent.

L'avaluació dels tests s'ha de fer monocularment, utilitzant almenys 10 persones sense patologia ocular. Els subjectes han d'anar totalment corregits; la seva agudesa visual ha de ser igual o major a 1,0 en l'escala decimal. El seu error refractiu abans de la correcció no hauria de ser major de +3,00 o - 3,00D esfèriques, amb menys d'1,00D d'astigmatisme regular.

Pel que fa a l'assignació del nivell d'agudesa visual, el participant està obligat a respondre a cada estímul presentat, encara que sigui per atzar (aquest mètode psicofísic és el dels estímuls constants amb multiresposta d'elecció forçada, que s'explica més endavant). El nombre d'errors de cada nivell s'ha d'anotar per al posterior recompte. Les freqüències d'encert es representaran en funció del logaritme de la mida de l'optotip. Els punts de la gràfica de cada grup d'optotips formaran una corba psicomètrica, a partir de la qual es podrà estimar el valor del punt d'igualació subjectiva (PIS), definit estadísticament com l'estímul límit en el qual es reconeix el 50% dels optotips presentats.

Una vegada s'han repetit les mesures monocularment pels 10 o més subjectes amb la millor correcció i AV igual o superior a 1,0, es fa la mitjana dels valors dels PIS per a cada tipus d'optotip. Si les dues mitjanes diferèixen més de 0,05 unitats logarítmiques, no es pot dir que els dos tipus d'optotips siguin equivalents. Poden fer-se equivalents modificant el disseny o engrandint o empetitint la mida de la sèrie d'optotips no estàndar en la proporció adequada.

1.4.5. Agudeses visual a distància propera

Per una comparació òptima entre l'agudeses visual en distància llunyana i la propera ambdós tests haurien de tenir els mateixos optotips i el mateix disseny de carta. És recomanable utilitzar una distància d'avaluació propera de 40cm.

Per fer una estimació de les capacitats de lectura i escriptura dels pacients es recomana l'ús de text continuat. Aquesta avaluació no produirà necessàriament una resposta igual a la d'una carta d'optotips aïllats. Aquesta prova pot servir per detectar defectes com l'escotoma paracentral o hemianòpsies, ja que afecten més a la capacitat de lectura que no a la reconeixença d'una lletra.

El comitè recomana que la classificació M del material tipogràfic que contingui pocs o cap nombre o lletres majúscules es basi en la distància a la qual l'altura de les lletres minúscules com ara *m*, *o* i *x* subtendeixin un angle de 5 minuts d'arc (x-height). S'ha decidit així perquè consideren difícil poder fer la calibració d'un text continuat amb els optotips de l'anell de Landolt, degut a la influència de variables tals com estil de tipografia, espaiat entre lletres o espaiat entre línies.

1.5. Norma UNE-EN ISO 8596:2009

Ensayo de la agudeza visual

Optotipos Normalizados y su Presentación

La norma ISO 8596:2009 [3] és la versió oficial, en espanyol, de la Norma Europea EN ISO 8596:2009 que a la vegada adopta la norma internacional ISO 8596:2009. Aquesta norma anul·la i substitueix la norma UNE-EN ISO 8596:1996. Es basa en les recomanacions del *Consilium Ophthalmologicum Universale (ICO 1984)*.

ISO (Organització Internacional de Normalització) és una federació mundial d'organismes nacionals de normalització (organismes membres de ISO). La feina de preparació de les normes internacionals normalment es realitza a través dels comitès tècnics de ISO. Cada organisme interessat en una matèria per a la qual s'hagi establert un comitè tècnic, té dret a ser representat per aquest.

Aquesta norma internacional descriu un mètode de mesura de l'agudesia visual per visió llunyana i en condicions diürnes. Tot seguit explicarem alguns punts clau que defensa la norma, basats com ja s'ha mencionat, en les recomanacions del Consell Internacional d'Oftalmologia.

L'anell de Landolt es descriu com l'optotip normalitzat, explicant-ne les seves dimensions (mostrant d com mida total i $d/5$ com el gruix de traç) i exposant que d'aquest optotip se'n poden presentar fins a vuit posicions.

Els valors d'agudesia visual corresponents a les diferents mides d'optotips han de seguir una escala logarítmica, essent la relació entre la mida de l'optotip i la mida immediatament inferior,

$$\sqrt[10]{10} = 1,2589$$

La norma deixa ometre graus d'agudesia visual com 0,05, 0,06 o 0,08, així com afegir-ne de nous. Les agudeses visuals 0,05, 0,06 i 0,08, en subjectes sense patologia ocular, ja sabem que donaran un 100% d'encert, per això són prescindibles.

La distància d'observació que defensa la norma també és de 4 metres, tot i que una variació de distància (com ara 5 o 6 metres) no es considera errònia.

Pel que fa a la luminància, el camp de fons (sala on es realitza l'assaig) ha de ser més fosc que l'àrea d'assaig, no obstant, en un camp de 10° de diàmetre, la luminància del camp circumdant no ha de ser inferior a $1/10$, ni superior a $1/4$ de luminància de l'àrea d'assaig . No hi pot haver tampoc una font enlluernant directa o indirecta dins del camp de visió. El rang de luminància és d'entre 80 i 320 cd/m^2 .

2. TREBALLS PREVIS

L'agudesia visual i la seva aplicació clínica apareix com a protagonista en gran quantitat d'estudis. Alguns d'aquests estudis, que són els que s'expliquen a continuació, tenen alguna relació amb el nostre estudi, ja que expliquen la validesa de noves cartes d'optotips en front del "gold standard".

2.1. *Visual Acuity Testing. From the laboratory to the clinic (Bailey, I.L., Lovie-Kichin, J.E., 2013).*

No tots els tests d'agudesia visual que utilitzem en la pràctica clínica han passat pel procés de calibratge. En l'article *Visual Acuity Testing. From the laboratory to the clinic* [11] s'explica que la *National Academy of Science / National Research Council* (NAS/NRC) va formar un equip d'experts anomenats *Working Group 39*, per preparar un informe de recomanació de procediments estàndar per a la mesura i especificació de l'agudesia visual. L'informe deia que l'anell de Landolt hauria de ser l'optotip estàndar en front a aquells optotips alternatius que es volguessin calibrar seguint el procediment recomanat. La família de 10 lletres de Sloan [12] però, va ser expressament exempta del requisit de calibratge recomanat, per ser considerada equivalent a l'anell de Landolt des d'un principi.

L'article és una recerca clínica que explica com la carta en format Bailey-Lovie va ser dissenyada, fruit de la necessitat de precisió (en l'exploració dels rangs d'agudesia) en l'avaluació de l'agudesia visual per a investigacions de baixa visió. En ell s'hi descriuen també els passos seguits pel seu disseny i el perquè de la designació logMAR de l'agudesia visual.

Bailey-Lovie [13] s'ha convertit en "gold standard" per al disseny de cartes d'optotips, independentment de la família d'optotips o la distància de prova. Aquestes cartes s'anomenen de manera més comuna "cartes logMAR". La carta logMAR més reconeguda és la ETDRS, creada per el grup *Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study* en un estudi de recerca de l'eficàcia del tractament precoç de la retinopatia diabètica. Aquest test s'utilitza a nivell mundial per a la majoria de les investigacions que tenen l'agudesia visual com una variable de resultat. En la seva creació, van seguir les recomanacions de la NAS/NRC i per tant, segueixen els mateixos principis que el disseny Bailey-Lovie, amb la diferència que l'ETDRS utilitzava una distància d'observació de 4 metres enlloc dels 6 metres de la cartes

d'optotips amb disseny Bailey-Lovie, i les caixes contenidores de les lletres, així com l'espaiat horitzontal, entre optotip i optotip, era de 5 unitats logarítmiques enlloc de 4.

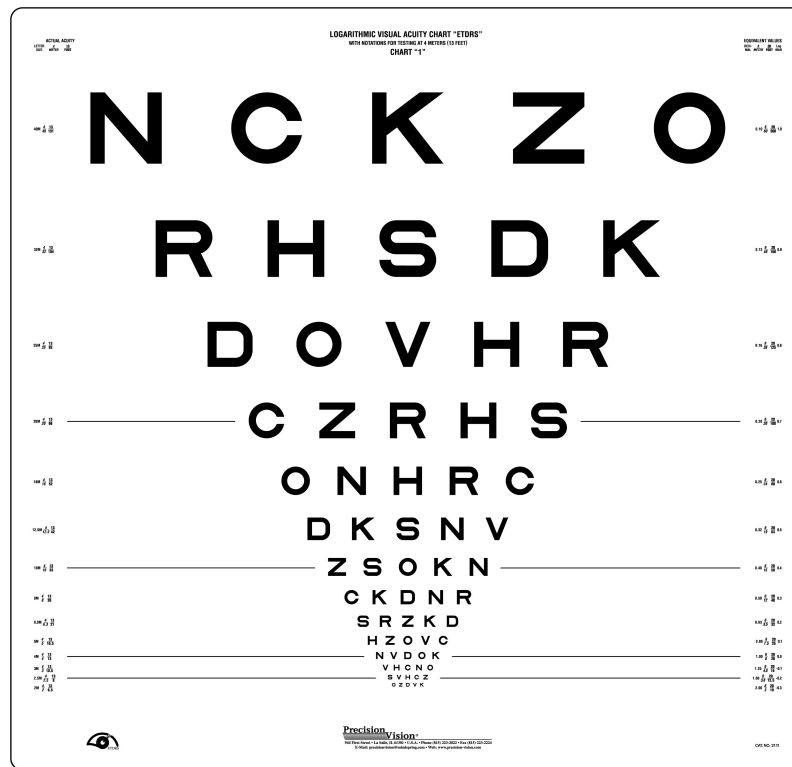


Figura 7. Carta d'optotips ETDRS [14].

2.2. *Correlation of Optotypes with the Landolt Ring - A Fresh Look at the Comparability of Optotypes (Grimm, W., Rassow, B., Weseman, W., Saur, K., Hilz, R., 1994).*

L'article anomenat *Correlation of Optotypes with the Landolt Ring - A Fresh Look at the Comparability of Optotypes* [15] és un estudi amb dos grans objectius. Per una banda prova de demostrar la rellevància del procediment de correlació ISO i per l'altre, mostra algunes noves tipografies (fig. 5) que no s'han creat d'acord amb el principi clàssic de 5s x 5s o 4s x 5s, recomanat per l'estàndard.

Es descriuen els resultats dels dos grups d'estudi que han utilitzat independentment el procediment de correlació ISO per comparar 3 conjunts d'optotips amb l'anell de

Landolt. Aquests tres conjunts són: Lletres romanes, la tumbling E i els optotips per nens de Lithander (test de KOLT).

La tipografia que no segueix el principi clàssic de caixa 5s x 5s és la *sans serif Linear-Antiqua, Typeface B* tal com va proposar Aulhorn et al. Com es pot observar en la figura 5, el gruix del traç és $1/7$ de la mida total de la lletra i el format de les lletres varia entre $4,5 \times 7$ i $5,5 \times 7$. La seva justificació per a l'ús d'aquest format es basa en què els principis de construcció no són ben bé una llei, sinó que simplement es va assumir que les lletres amb dimensions 5×5 o 4×4 tenien una legibilitat semblant. La legibilitat es defineix com la capacitat o possibilitat d'una lletra o un text ser llegit, per la seva claredat.

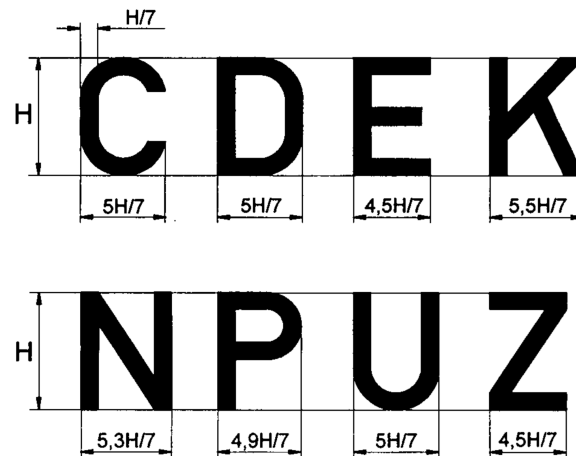


Figura 8. Optotips en lletra *sans serif Linear-Antiqua Typeface B*.

El grup d'estudi I (School of Optometry, Aalen) té en compte la legibilitat i la freqüència de confusió per seleccionar les vuit lletres: D, F, K, N, R, T, U, Z (Taula 2). El grup d'estudi II (Medical Optics Laboratory, University Eye Clinic, Hamburg) ha tingut només en compte el criteri de legibilitat semblant. En aquest cas han fet servir: C, D, E, F, K, N, P, U, V, Z (Taula 2).

Hartridge and Owen ¹⁰	Coates ¹¹	Sloan et al. ¹³	DOG ⁷	Hedin and Olsson ¹⁴	BSI ¹⁶	NAS-NAC ¹⁷	No.	SG I 1987	SG II 1989
—	—	C	—	C	—	C	3	—	C
D	D	D	D	D	D	D	7	D	D
—	E	—	E	E	—	—	3	—	E
F	—	—	F	F	F	—	4	F	F
H	H	H	H	—	H	H	6	—	—
—	—	K	K	K	K	K	5	K	K
—	—	—	—	M	—	—	1	—	—
N	N	N	N	N	N	N	7	N	N
—	—	O	O	—	O	O	4	—	—
P	P	—	P	—	P	P	5	—	P
—	—	R	R	—	R	R	4	R	—
—	—	S	—	—	—	S	2	—	—
T	T	—	T	—	T	—	4	T	—
U	—	—	U	U	U	—	4	U	U
—	V	V	—	V	—	V	4	—	V
X	—	—	X	X	—	—	3	—	—
—	—	—	—	Y	—	—	1	—	—
Z	Z	Z	Z	—	—	Z	5	Z	Z
Σ 9	8	10	13	11	10	11	72	8	10

Taula 2. Proposta de diversos autors i comitès nacionals en relació a l'ús de les lletres per a tests d'agudesa visual. Les lletres utilitzades en el grup I i II corresponen a les columnes 9 i 10 respectivament.

El grup d'estudi I ha triat la tumbling E (fig. 8 (a)), presentada en les 4 posicions elementals (figura 8a). El grup II ha escollit el test KOLT (fig. 8(b)) per comparar amb l'anell de Landolt d'acord amb el procediment de la ISO/DIN. Aquest test es basa en 4 formes geomètriques simples: triangle, quadrat, creu i cercle.

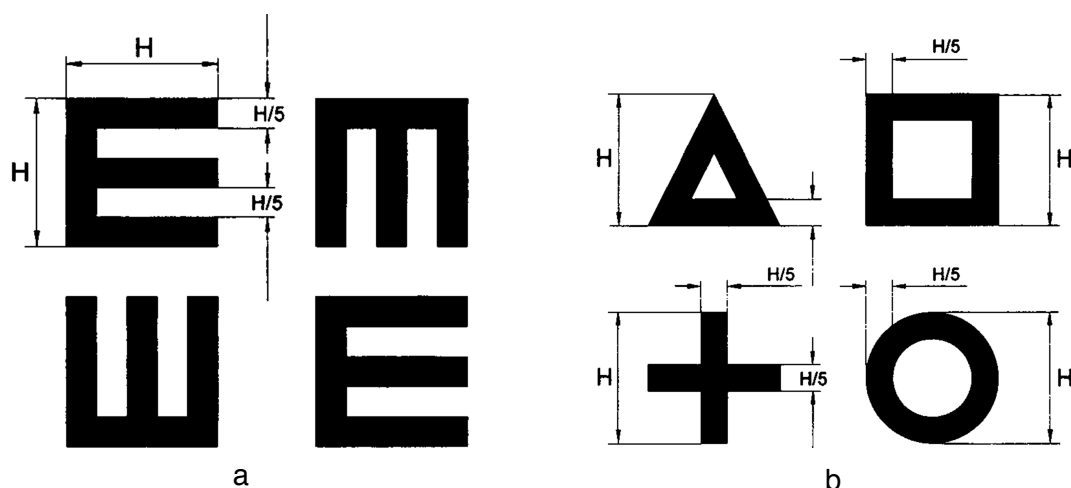


Figura 9. a) E de Snellen en les quatre posicions elementals. b) Figures geomètriques del test de KOLT.

Els participants són 10 adults amb ulls sans, visió binocular normal i amb error refractiu corregit si era el cas. L'AV de tots ells era major de 1.25 en escala decimal.

El nombre d'encerts s'ha registrat, anotant les respostes correctes en cada nivell d'agudes visual, descomptant els encerts per casualitat. La freqüència de respostes correctes corregides s'ha representat en funció del logaritme de la mida del detall més crític de l'optotip.

S'ha utilitzat el t-test per verificar la significació de la diferència entre la legibilitat dels grups d'optotips i la de l'anell de Landolt. Si hi ha una diferència significativa, la mida dels optotips s'hauria de modificar per establir l'equivalència amb l'anell.

Pel que fa a la validació dels grups de lletres, els resultats han donat que ambdós grups de lletres són equivalents a l'anell de Landolt, ja que la mitjana de diferència de parells és menor de 0,05 unitats logarítmiques (taula 3). Els resultats de la

Optotype Set	Mean Pair Difference $\bar{\Delta}_i$ and 95% Confidence Interval (log units)	Pair Difference Statistically Significant at the 95% Level? (t-test)	Size Correction Factor
8 letters	0.027 ± 0.019	yes	0.94
10 letters	0.021 ± 0.014	yes	0.95
Snellen E	0.065 ± 0.021	yes	0.86
KOLT test	0.076 ± 0.015	yes	0.84

validació de la tumbling E i KOLT mostren que cap dels dos grups són equivalents a l'anell de Landolt. La diferència mitjana de parells entre cadascun dels optotips i la C de Landolt és superior a 0,05 unitats logarítmiques.

Taula 3. Diferència de mitjanes entre els optotips i l'anell de Landolt.

2.3. *Psychophysics of reading. XV: Font effects in normal and low vision (Mansfield, J. S., Legge, G. E., & Bane, M. C., 1996).*

En visió propera, normalment les cates d'agudesia visual contenen paràgrafs de text, de tipografies diverses, amb disminució de la mida de les lletres d'acord amb el nivell d'agudesia visual. Els formats més habituals són en Times New Roman i Arial.

Igual que amb els optotips que s'utilitzen per mesurar l'agudesia visual en visió llunyana, necessiten ser aprovats com estàndard per aquesta avaluació. Doncs bé, hi ha un estudi anomenat *Psychophysics of reading. XV: Font effects in normal and low vision* [16], el qual pretén mostrar la influència de les fonts Times-Roman i Courier-Bold en la lectura amb poblacions sense patologia ocular i en poblacions de baixa visió.

Els autors de l'article van utilitzar dues versions de la carta d'agudesia visual MNREAD per comparar l'habilitat lectora amb les dues fonts. MNREAD són unes cartes de lectura de text continuat, que consisteixen en 19 frases impreses amb una disminució progressiva de mida. En cada carta, les frases tenen el mateix nombre de caràcters i traçat geomètric.

Everyone wanted to
go outside when the
rain finally stopped

a

**We both raced
into the yard
when we heard
the fire bell**

b

Figura 10. Frases de a) Times-Roman i b) Courier-Bold de la carta d'agudesia visual MNREAD.

Expliquen que en ambdues fonts, la mida d'impressió va ser definida com l'alçada 'x' (x-height) d'una lletra minúscula, d'acord amb el procediment recomanat per a l'especificació de l'agudesia visual. El concepte de x-height es refereix a l'alçada de la caixa de les lletres minúscules, sense ascendents ni descendents, d'una tipografia [17,18,19].

A un distància d'observació de 40 cm, les agudeses visuals es trobaven en un rang de 1.3 a -0,5 logMAR, amb passos de 0,1 unitats logarítmiques. Els subjectes eren 50 estudiants de psicologia, amb visió del 100% amb correcció o sense, i 42 persones amb baixa visió.

L'estudi feia una valoració de l'agudeses visual en visió propera, la rapidesa lectora i la mida crítica d'impressió (la mida més petita que podia llegir-se amb la màxima rapidesa), donant com a resultat que els nivells d'AV amb Courier eren millors que els obtinguts amb Times per ambdós grups, visió normal (diferència de mitjanes de 0,05 logMAR, $p < 0.001$) i baixa visió (0,09logMAR, $p < 0.001$). Igualment, la mida del detall crític mesurada amb Courier va ser menor que la de Times (diferència de mitjanes de 0,06 logMAR per visió normal i baixa visió, $p < 0.002$). Times, en subjectes amb visió normal va resultar obtenir un 5% més de rapidesa lectora ($p < 0.001$), però en subjectes amb baixa visió va passar el contrari, la màxima rapidesa lectora va ser un 10% més lenta en Times que en Courier. Amb això van concloure que, per a subjectes amb baixa visió la legibilitat amb Courier era millor que amb Times. Per a subjectes normals però la diferència era més discreta, amb avantatge per part de Times, en rapidesa lectora. No obstant això, per les mides d'impressió prop del llindar d'agudeses visual, l'elecció de la font podria marcar una diferència significativa en el rendiment normal i en baixa visió de la lectura.

Hi ha una informació important continguda en l'article, i és que es conclou també que *The National Academy of Sciences - National Research Committee on Vision* recomana definir la mida d'impressió utilitzant la x-height.

En la seva identificació de diferències significatives en el rendiment de lectura, amb el text representat en les diferents fonts, que van ser agrupats per l'alçada 'x', indica que l'alçada de la lletra per sí sola és una mètrica insuficient per descriure la mida d'impressió en les proves d'agudeses lectora, també s'hauria de tenir en compte la seva amplada.

2.4. Objective analysis of typographies by image processing based on the optotypes' guidelines (Abril, H. C., Tàpias, M., & Torrents, A.)

Investigant els antecedents de la tipografia utilitzada per al present estudi, l'Optotipica_2, és necessari citar un article on s'explica el perquè de la seva creació.

Objective analysis of typographies by image processing based on the optotypes' guidelines es va publicar l'any 2013 a la revista *Óptica Pura y Aplicada* [8].

La majoria de cartes de lectura per a l'avaluació de l'agudesia visual en visió propera que coneixem fins ara estan dissenyades amb la tipografia Times New Roman. En aquest estudi es va fer un anàlisi objectiu de les tres tipografies utilitzades habitualment (Times New Roman, Arial i Arial Bold).

Utilitzant com a optotip de referència la tumbling E, es van definir dos nous paràmetres per a cada tipografia que van permetre comparar-les amb ella. Un d'ells és la semblança que té un caràcter a un optotip (Degree of similarity to an optotype) i l'altre és la dispersió (S_p), que té relació amb l'amplada de traç al llarg del caràcter. Els resultats obtinguts van demostrar que cap de les tres tipografies proposades és adequada per ser considerada com a optotip. Times New Roman és la menys semblant i Arial Bold la més semblant a un optotip.

Des del punt de vista d'una carta de lectura que pretén donar uns valors d'agudesia visual com a carta d'agudesia visual, una tipografia com la Optotípica compleix els requisits dels optotips, encara que la seva legibilitat no és tan alta com la de Times New Roman o Arial. L'objectiu principal a l'hora de la creació de l'Optotípica va ser proposar una tipografia que combinés mesures precises d'agudesia visual i legibilitat.

3. METODOLOGIA

A partir de les recomanacions del Comitè Internacional d'Opftalmologia (ICO 1984) [9] i la norma ISO 8596:2009 [3] s'han desenvolupat els següents punts de la metodologia. S'explica més detalladament com és la tipografia d'estudi, així com els mètodes utilitzats per a l'elaboració i disseny de les presentacions, les condicions en les quals s'ha treballat i el procediment d'avaluació del grau de visibilitat dels caràcters.

3.1. Optotip d'estudi. Tipografia Optotipica_2.

L'Optotipica_2 va ser desenvolupada pel tipògraf [Andreu Balius](#) [20] i pels professors Francesc Salvador i Montserrat Tàpias, de la FOOT. Cal dir que la tipografia Landolt amb la que hem treballat, ha estat dissenyada també per Andreu Balius, per encàrrec exprés de Montserrat Tàpias.

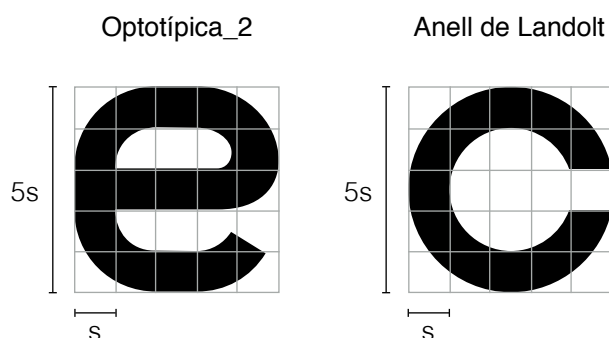


Figura 11. Caixa 5s x 5s de la lletra e amb tipografia Optotipica_2 i caixa de 5s x 5s de l'anell de Landolt.

Aquesta tipografia, conté tots els caràcters de l'abecedari (en majúscula i minúscula), així com números i diacrítics (fig.4(b)).

El present estudi s'ha realitzat amb els següents caràcters, en minúscula, de la font Optotipica_2.

abcde**f**gh**i**jk**l**mnpqrs**t**vwxyz

Figura 12. Caràcters en minúscula de la tipografia Optotipica_2 utilitzats a l'estudi.

Hem desestimat la inclusió d'optotips com la ñ i la ç per no estar continguts a gaires llengües.

Gairebé tots els caràcters que hi ha tenen en comú la x-height a excepció dels que estan marcats en vermell a la figura 12. Tot i així, els hem tingut en compte en la presa de mesures, ja que són lletres que s'utilitzen freqüentment. Segons varies publicacions de freqüència d'aparició de les lletres [21,22,23], en l'idioma espanyol, la **i**, **l**, **t** es troben entre les lletres més utilitzades (al voltant d'un 5%). La **f**, **j** es troben al voltant de l'1% passant per davant de la *w*, *x*, *k*. En anglès, les tres primeres encara són més freqüents (al voltant d'un 7%), la **f**, 2% i finalment la **j**, que en aquest cas és la menys freqüent (0,2%), per davant de la *q*.

3.2. Elaboració de presentacions

Per a la validació de la tipografia, es recomana la presentació d'optotips aïllats. Així doncs, per fer-ho fàcil hem elaborat una presentació Power Point amb un optotip a cada pàgina. En total hem decidit que fariem servir 10 mides de lletra corresponents a un rang d'agudeses de 0,192 a -0,308 logMAR. Els detalls del procés s'expliquen a continuació.

3.2.1. Determinació de mides d'optotip a partir d'una carta Bailey-Lovie amb anells de Landolt.

Com a material clau per a la planificació d'aquest punt, teniem una carta d'anells de Landolt, impresa en format Bailey-Lovie (fig.13). La mida més gran d'anell havia estat mesurada amb un microscopi i feia 17,86 mm. Amb això hem determinat els equivalents logMAR i decimal per a una distància de 5 m, per a la primera línia (taula 5). Aquesta carta doncs, començava per una AV decimal de 0,406, equivalent a 0,392 logMAR.

S'ha suposat que aquesta carta tindria una progressió geomètrica de mides, ja que és una carta logMAR. Així doncs, les mides que segueixen (taula 4), han estat calculades a partir de la següent deducció:

$$\log MAR_n = \log MAR_{n-1} - 0,1 \quad (8)$$

$$-\log AV_n = -\log AV_{n-1} - 0,1 \rightarrow \log AV_n - \log AV_{n-1} = 0,1 \quad (9)$$

$$0,1 = \log \frac{AV_n}{AV_{n-1}} = \log \frac{2,9 \cdot 10^{-4} \frac{d}{s_n}}{2,9 \cdot 10^{-4} \frac{d}{s_{n-1}}} \quad (10)$$

$$0,1 = \log \frac{s_{n-1}}{s_n} \rightarrow \frac{s_{n-1}}{s_n} = 10^{0,1} = \sqrt[10]{10} \quad (11)$$

$$s_n = \frac{s_{n-1}}{\sqrt[10]{10}} \rightarrow s_2 = \frac{s_1}{\sqrt[10]{10}} \rightarrow s_3 = \frac{s_1}{(\sqrt[10]{10})^2} (...) \rightarrow s_n = \frac{s_1}{(\sqrt[10]{10})^{n-1}} \quad (12)$$

Per tant, tenint en compte que la proporció entre la mida de l'optotip d'una línia d'AV i la mida immediatament inferior hi ha una progressió en salts logMAR igual a -0,1 sabem que:

$$s_n = \frac{s_1}{(\sqrt[10]{10})^{n-1}}, \quad (13)$$

On s és la mida del detall crític de l'optotip i n correspon al número de línia d'AV. Per exemple, si volem saber la mida de la segona línia d'optotips de la carta, llavors n és igual a 2.

A la pàgina següent es troba la carta amb la qual hem treballat (fig.13), amb els respectius valors d'agudesa visual decimal i logMAR, a cada mida. A la taula 4 es mostren les mides dels detalls crítics s , calculades a partir de l'equació (13), i les mides dels optotips 5s.

AV decimal

AV logMAR

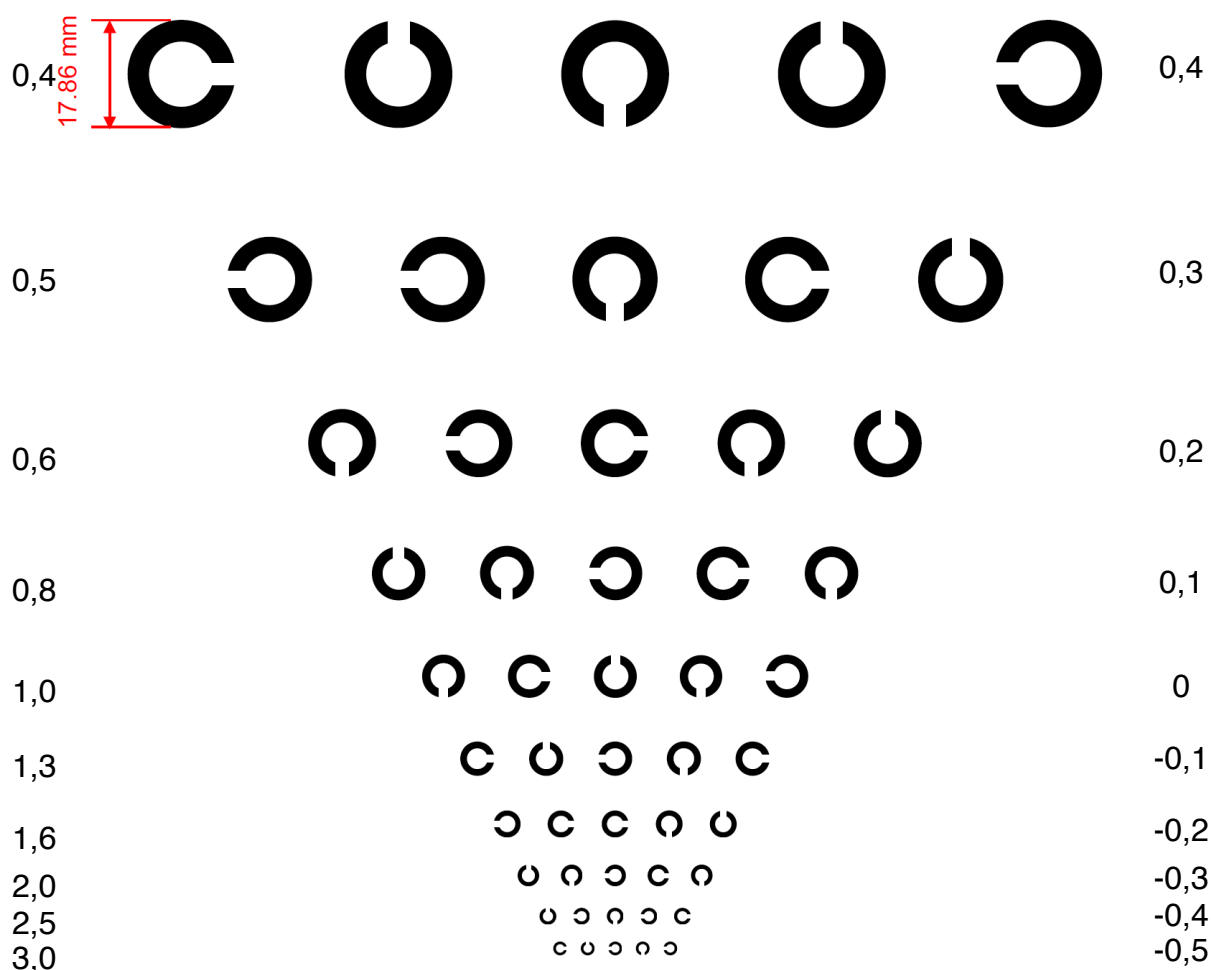


Figura 13. Carta Bailey-Lovie d'anells de Landolt. Representada en escala decimal i logMAR.

núm. línia	S _{presentació} (mm)	5S _{presentació} (mm)
1	3,57	17,86
2	2,84	14,19
3	2,25	11,27
4	1,79	8,95
5	1,42	7,11
6	1,13	5,65
7	0,90	4,49
8	0,71	3,57
9	0,57	2,83
10	0,45	2,25

Taula 4. Mides 5s i s corresponents a cada línia d'agudes visual de la carta Bailey-Lovie amb anells de Landolt.

3.2.2. Relació mm/pt

Hem de tenir en compte que, per saber la mida de presentació dels optotips al monitor, hem de trobar una relació de la seva mida en mil·límetres i en punts.

El monitor que hem utilitzat mesura 585 mm en diagonal. Per relacionar els mil·límetres amb la mida en punts de lletra hem dibuixat la font, tan gran com permet la pantalla, tal i com mostra l'esquema de la figura 10. La font, a mode de presentació, fa 239,5mm d'alçada i equival a 450 punts. Així doncs, la relació o factor de conversió és 0,5322 mm/pt presentat.

$$Factor = \frac{239,5}{450} = 0,5322mm / pt$$

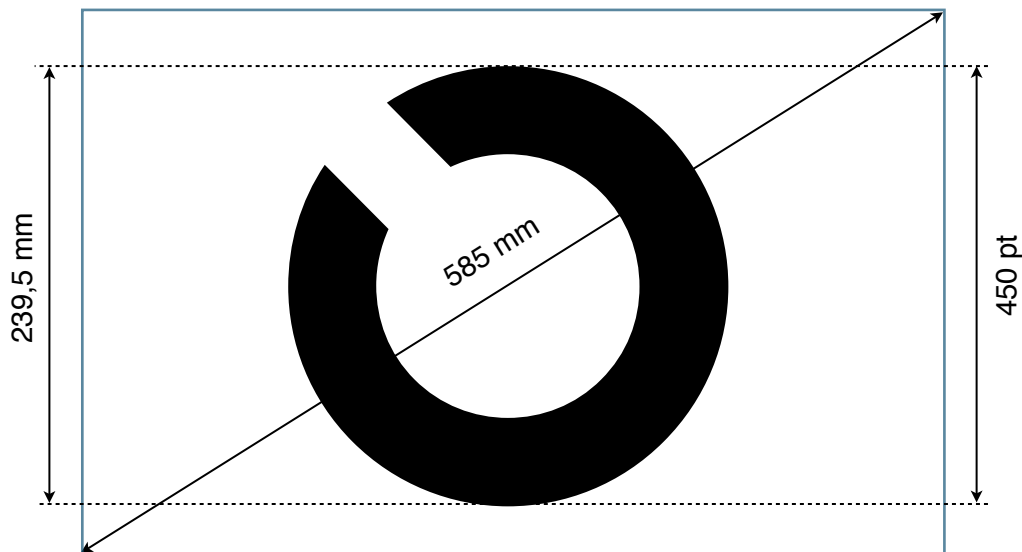


Figura 14. Pantalla del monitor on s'hi presenta la mida en mil·límetres de l'anell de Landolt i la seva relació en punts de lletra.

Partint de la carta en format Bailey-Lovie, mencionada al començament del punt 3.2, sabem que la mida més gran d'anell és de 17,86 mil·límetres. Per tant:

$$pt_{0,392\log MAR} = \frac{17,86mm}{0,5322mm} = 33,6pt$$

Hem utilitzat la mateixa relació per a les mides següents i així hem completat la taula 4, amb els pt's de presentació corresponents per a cadascuna.

A la taula 5 es mostren les mides s i 5s de cadascuna de les línies del test Bailey-Lovie i el seu equivalent en pt's calculat amb l'expressió anterior. L'AV en escala logMAR i decimal, corresponents a cada línia, també figuren a la taula.

d=5000					
núm. línia	S _{presentació} (mm)	5S _{presentació} (mm)	pt's presentats	logMAR	AV
1	3,57	17,86	33,6	0,392	0,406
2	2,84	14,19	26,7	0,292	0,511
3	2,25	11,27	21,2	0,192	0,643
4	1,79	8,95	16,8	0,092	0,810
5	1,42	7,11	13,4	-0,008	1,020
6	1,13	5,65	10,6	-0,108	1,284
7	0,90	4,49	8,4	-0,208	1,616
8	0,71	3,57	6,7	-0,308	2,034
9	0,57	2,83	5,3	-0,408	2,561
10	0,45	2,25	4,2	-0,508	3,224

Taula 5. Carta de mides de presentació s i 5s per a l' anell de Landolt, amb els seus equivalents pt's i les agudeses visuals, decimal i logMAR, a les quals correspon cada mida.

3.2.3. Progressió i mida dels optotips

Els observadors escollits per a l'estudi arribaven a una agudesa visual igual o més gran que 1,0 en escala decimal. Doncs bé, aquest factor ha ajudat a determinar quina seria la progressió i mida dels optotips de cada sèrie. Hem prè com a punt de partida la mida d'anell equivalent a AV=0,643 (0,192 logMAR), per assegurar el 100% d'encerts en la primera sèrie, reduint la mida dels optotips fins a l'equivalent a

AV 2,034 (-0,308 logMAR). Hem considerat que aquesta agudesa visual ja era prou petita. En aquesta línia d'AV, els encerts haurien d'haver estat per pur atzar.

Taula 6a					
Línia	s (mm)	5s (mm)	pt C Landolt	logMAR	Decimal
1	2,254	11,27	21,2	0,192	0,643
2	1,790	8,95	16,8	0,092	0,810
3	1,422	7,11	13,4	-0,008	1,020
4	1,130	5,65	10,6	-0,108	1,284
5	0,897	4,49	8,4	-0,208	1,616
6	0,713	3,56	6,7	-0,308	2,034

Taula 6b			
Salts logMAR	logMAR	5s (mm)	pt anell
-0,1	0,092	8,95	16,8
-0,1	-0,008	7,11	13,4
-0,05	-0,058	6,34	11,9
-0,025	-0,083	5,98	11,2
-0,025	-0,108	5,65	10,6
-0,025	-0,133	5,33	10,0
-0,05	-0,158	5,03	9,5
-0,01	-0,208	4,49	8,4
	-0,308	3,56	6,7

Taula 6. a) Taula de progressió de mides, en mil·límetres i punts, i les respectives escales logMAR i decimal. b) Discretització de la progressió logMAR al voltant del llindar d'agudesa visual de la població estudiada. També s'hi mostra els salts logMAR que s'han fet en cada mida d'anell de Landolt.

La taula 6 ens mostra com està construïda aquesta progressió de mides. La norma ISO 8596:2009 ens explica que la progressió geomètrica de les mides hauria de ser de 0,1 en escala LogMAR. Doncs bé, noteu que a la taula 6a es compleix la progressió esmentada (0,1 LogMAR).

A la taula 6b però, s'ha creat una discretització més fina de la progressió per obtenir un ajustament més acurat de la funció psicomètrica resultant. A la mateixa taula es poden observar els salts logMAR de mida.

3.2.4. Àrea d'assaig

La norma considera que l'àrea d'assaig ha de tenir un diàmetre circular de 4° i l'àrea circumdant, de 15°. La nostra àrea d'assaig, pensada per ser observada a 5 metres,

mesurava 34,92 centímetres i l'àrea circumdant, 131,7 centímetres. Aquesta àrea és homogènia i menys lluminosa que l'àrea d'assaig, tal i com es recomana.

$$\operatorname{tg} 2^{\circ} = \frac{x}{500}; x = 500 \cdot \operatorname{tg} 2^{\circ}; x = 17,46 \text{ cm} \quad (14)$$

$$17,46 \cdot 2 = 34,92 \text{ cm}$$

$$\operatorname{tg} 7,5^{\circ} = \frac{x}{500}; x = 500 \cdot \operatorname{tg} 7,5^{\circ}; x = 65,85 \text{ cm} \quad (15)$$

$$65,85 \cdot 2 = 131,7 \text{ cm}$$

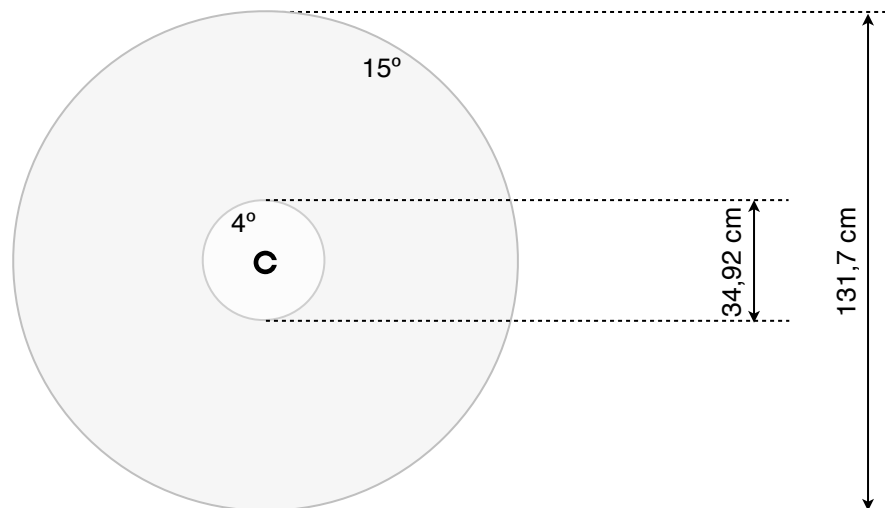


Figura 15. Representació gràfica de l'àrea d'assaig i l'àrea circumdant, quan s'observa des de 5 metres de distància.

L'àrea central correspon a la pantalla del monitor i per a l'àrea circumdant hem utilitzat un plafó de cartó pluma de color blanc, el qual era més tènue que el fons autoil·luminat de l'àrea d'assaig.

3.2.5. Luminància i contrast

Per a objectius clínics, la luminància del test no hauria de ser inferior a 80cd/m² però no hi ha un nivell determinat que es defineixi com estàndard. En un estudi publicat

l'any 1984, *Visual Acuity and Chart Luminance* (James E. Sheedy, Ian L. Bailey, Thomas W. Raasch) [24] es va investigar la influència de la luminància en la mesura de l'AV utilitzant anells de Landolt i British letters. En l'experiment es van escollir 9 nivells de luminància des de 6,8 fins a 1059 cd/m^2 . Les cartes d'AV eren transparències d'optotips sobre una pantalla autoil·luminada i hi havia 5 optotips per línia, amb una progressió de mides de 0,1 unitats logarítmiques. L'AV es va avaluar monocularment a 10 subjectes sense patologia ocular.

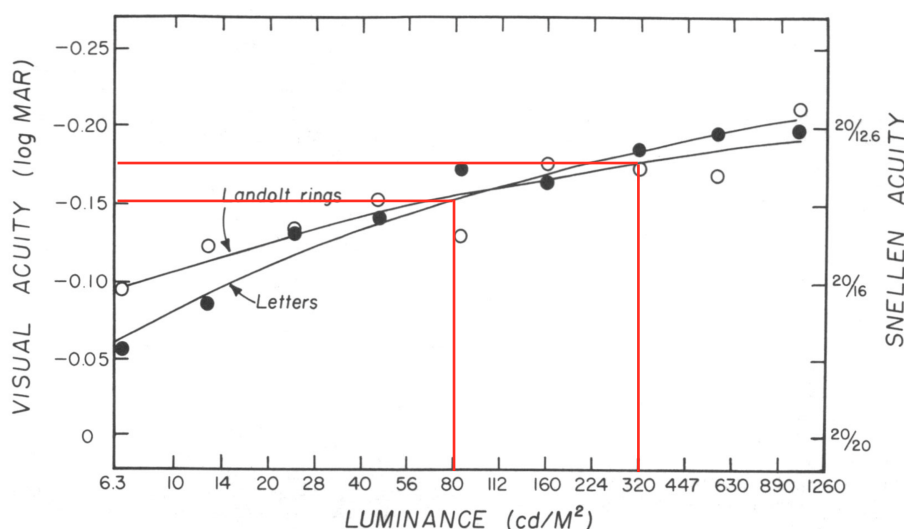


Figura 15. Representació de l'AV en escala logMAR i Snellen, en funció de la luminància, per a les lletres i per als anells de Landolt [24].

Basant-se amb aquests resultats, van concloure que el rang de luminància que es recomanava (de 80 a 320 cd/m^2) era acceptable. Aquests nivells corresponen a la zona fotòpica i, per tant, l'AV roman constant. Van suggerir a més a més, agafar el valor de 160 cd/m^2 com a luminància estàndard per a la mesura de l'AV. En el nostre cas, la luminància del test (àrea d'assaig) és de 240 cd/m^2 aproximadament. L'àrea circumdant té una luminància de 160 cd/m^2 .

El contrast entre l'optotip negre del test i el fons blanc ha de ser alt. Per decidir les condicions de llum de la sala on fariem l'experiment, vam mesurar el contrast en dues situacions: amb llum ambiental o sense. En condicions fotòpiques (C_{CF}) el fons blanc de l'àrea d'assaig té una luminància de 246 cd/m^2 i l'optotip negre, 5,97 cd/m^2 ; en condicions escotòpiques (C_{CE}), la luminància del fons blanc és 244 cd/m^2 i la de l'optotip negre, 1,5 cd/m^2 . La diferència de contrast entre una situació i l'altre no és superior a 0,05 cd/m^2 . Per tant, hem pres les mesures en condicions fotòpiques.

$$Contrast = \frac{L_{m\grave{a}x} - L_{m\grave{i}n}}{L_{m\grave{a}x}} \quad (16)$$

$$C_{CF} = \frac{246 - 5,97}{246} = 0,975$$

$$C_{CE} = \frac{244 - 1,5}{244} = 0,99$$

3.2.6. Disseny i presentació dels optotips

Abans d'explicar com s'han dissenyat les presentacions cal parlar de l'equivalència de punts entre l'anell de Landolt i l'Optotípica_2. Suposem que tenim un anell de Landolt i la lletra c de la tipografia Optotípica_2, ambós en mida 50 punts (figura 17):

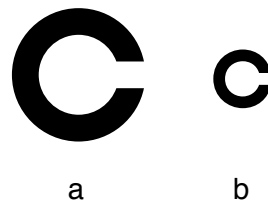


Figura 16. a) Anell de Landolt 50 punts. b) c minúscula Optotípica_2 50 punts.

La caixa contenidora de la tipografia, com que conté majúscules, elements ascendents i descendents, és d'una mida molt més gran que la de l'anell de Landolt. Llavors, com que els pt's van relacionats amb l'altura de la caixa tipogràfica contenidora, quan es demana 50 pt's a l'Optotípica_2, la referència no és la mateixa que en la de l'anell de Landolt. És per això que veiem la c molt més petita que l'anell de Landolt.

Per identificar quins punts necessitàvem per a l'anell de Landolt i quins, per a l'Optotípica_2, perquè donéssin gruixos de traç coincidents, hem maximitzat tot el què permet el programa Power Point l'anell de Landolt, tal que la seva mida era de 308 punts. Comparant l'anell i la font, hem trobat que la c Optotípica_2 ha de tenir una mida de 700 punts per coincidir (en mida i gruix de traç) amb l'anell de Landolt.

Fent la relació de mides es troben els punts necessaris que ha de tenir la Optotípica_2 en cada sèrie (taula 7).

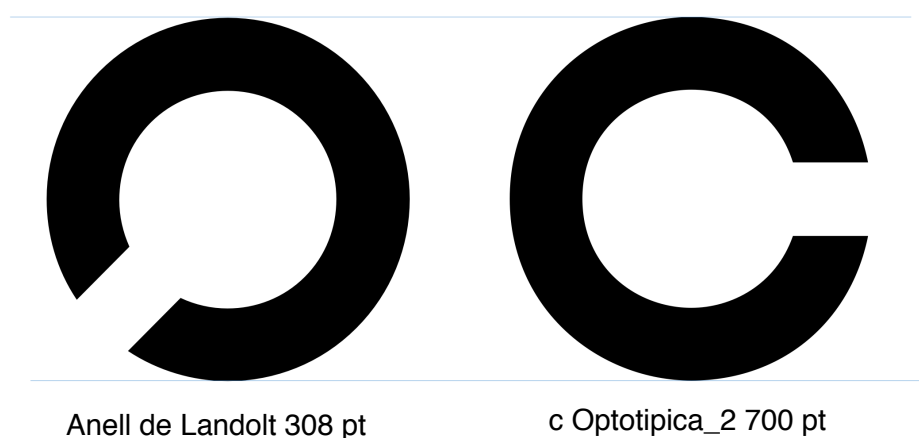


Figura 17. Presentació PPT amb l'anell de Landolt de 308 punts de mida i la c Optotípica_2 de 700 punts de mida.

Nº mides	pt anell Landolt	mida pt màx. anell de Landolt	equival. gruix de traç c Optotípica_2	pt Optotípica 2
1	21,2	308	700	48,2
2	16,8	308	700	38,2
3	13,4	308	700	30,5
4	11,9	308	700	27,0
5	11,2	308	700	25,5
6	10,6	308	700	24,1
7	10,0	308	700	22,7
8	9,5	308	700	21,6
9	8,4	308	700	19,1
10	6,7	308	700	15,2

Taula 7. Equivalència de punts de presentació de l'anell de Landolt amb els de l'Optotípica_2.

Fent referència a l'anell de Landolt, hem creat 10 sèries o mides de lletra, començant per la que correspon a una AV de 0,192 logMAR. La norma diu que el nombre total de presentacions ha de ser major de 120. Presentant cada posició d'anell una sola vegada, el total de presentacions seria de 80. A cada mida, doncs, hem presentat 16

anells, és a dir, les seves vuit posicions diferents per duplicat, així el total és de 160 presentacions.

Hem procurat que en cadascuna de les mides hi hagi una permutació diferent per a cada ull de cada subjecte, perquè l'ordre de les presentacions no fós un condicionant dels resultats obtinguts. Tanmateix, dins de cada sèrie, les permutacions eren diferents, per evitar que els participants puguessin memoritzar l'ordre dels optotips.

Pel què fa a la tipografia d'estudi, tenim un nombre més gran d'optotips que l'anell de Landolt, concretament 26. A diferència de l'anell, hem presentat una sola vegada cada caràcter, per a cada mida, amb un total de 260 presentacions. També hi havia 10 mides de lletra començant per l'AV 0,192 logMAR. També hem utilitzat permutacions diferents, per a cada ull de cada participant i per a cada mida, per la mateixa raó que s'ha explicat amb l'anell de Landolt.

Les presentacions s'han creat amb Power Point. En cada presentació hi havia un sol optotip perfectament centrat. Entre optotip i optotip hem deixat una diapositiva en blanc, tal i com diu la ISO 8596:2009 amb la idea de donar temps al participant per respondre. La freqüència d'aparició era de 3 segons per Optotip i 4 segons per diapositiva en blanc.

3.2.7. Protocol de presa de mesures

El material necessari per la presa de mesures és el següent:

- ✿ Pantalla d'ordinador (àrea d'assaig), envoltada d'un plafó blanc (àrea circumdant). La funció de l'estructura és evitar qualsevol distracció de l'observador.
- ✿ Mentonera fixa situada a cinc metres de distància del monitor i a la mateixa alçada que l'optotip de l'àrea d'assaig.
- ✿ Presentació en Power Point de l'anell de Landolt.
- ✿ Presentació en Power Point de la tipografia Optotipica_2.

Per tal de que l'estudi sigui vàlid, es necessiten 10 participants o més. En aquest cas s'ha treballat amb 13 participants d'edats compreses entre 18 i 35 anys. L'únic criteri

d'exclusió que s'ha tingut en compte és no assolir una AV monocular menor de 1,0 en escala decimal.

Abans de començar amb la part pròpiament experimental, s'ha fet un tanteig del nivell d'agudesa visual a diversos subjectes, 13 dels quals complien els requisits de participació (tots ells amb una AV, monocular i decimal superior o igual a 1,0). Aquesta mesura s'ha realitzat amb el test de format Bailey-Lovie imprès amb anells de Landolt.

L'experiment es subdivideix en dues sessions. A la primera s'ha treballat amb l'anell de Landolt i a la segona, amb la tipografia Optotipica_2.

La primera sessió consistia en l'anotació de respostes de l'individu amb la presentació PPT de l'anell de Landolt. Els participants havien de respondre encara que fós per atzar. Aquest mètode psicofísic és el dels estímuls constants amb multiresposta d'elecció forçada. Al llarg de l'experiment es presenten repetidament els mateixos estímuls (constants), però distribuïts aleatòriament (per atzar) [25]. Cadascun dels anells o optotips es presenta al subjecte, un nombre elevat de vegades, registrant-ne el percentatge de reconeixement (resposta correcta). Finalment, es determina com a llindar o punt d'igualació subjectiva (PIS) aquella magnitud de l'estímul que ha estat percebuda el 50% de vegades. Així es defineix el PIS com la mitjana de la distribució dels valors de l'estímul.

Per a cada ull de cada participant s'ha elaborat una pauta de respostes per facilitar l'anàlisi posterior de les dades. A la taula 8 se'n mostra un exemple corresponent a l'ull dret del participant 1. A la primera fila de cada agudesa visual hi ha el número de diapositiva presentada i a la segona fila, l'anell corresponent a la diapositiva.

ANEL·L DE LANDOLT																													
logMAR 0,192			logMAR 0,092			logMAR -0,008			logMAR -0,058			logMAR -0,083			logMAR -0,108			logMAR -0,133			logMAR -0,158			logMAR -0,208			logMAR -0,308		
Nº	A	R	Nº	A	R	Nº	A	R	Nº	A	R	Nº	A	R	Nº	A	R	Nº	A	R	Nº	A	R	Nº	A	R	Nº	A	R
D	I	E	D	I	E	D	I	E	D	I	E	D	I	E	D	I	E	D	I	E	D	I	E	D	I	E	D	I	E
A	P	O	A	P	O	A	P	O	A	P	O	A	P	O	A	P	O	A	P	O	A	P	O	A	P	O	A	P	O
9	○		10	○		9	○		8	○		13	○		7	○		13	○		5	○		2	○		13	○	
7	○		15	○		4	○		13	○		12	○		8	○		8	○		9	○		10	○		14	○	
13	○		7	○		5	○		9	○		9	○		14	○		15	○		16	○		15	○		10	○	
8	○		14	○		7	○		1	○		16	○		6	○		3	○		13	○		3	○		5	○	
11	○		9	○		15	○		10	○		8	○		2	○		11	○		8	○		9	○		1	○	
3	○		8	○		16	○		12	○		4	○		15	○		16	○		1	○		6	○		3	○	
14	○		13	○		6	○		11	○		14	○		11	○		1	○		2	○		1	○		6	○	
16	○		1	○		1	○		3	○		11	○		9	○		2	○		6	○		16	○		11	○	
15	○		12	○		13	○		5	○		15	○		3	○		7	○		15	○		14	○		4	○	
6	○		11	○		2	○		7	○		7	○		16	○		14	○		3	○		11	○		2	○	
5	○		16	○		11	○		16	○		6	○		10	○		12	○		4	○		12	○		9	○	
1	○		3	○		10	○		15	○		10	○		12	○		10	○		7	○		8	○		12	○	
4	○		4	○		12	○		4	○		3	○		5	○		6	○		11	○		13	○		15	○	
2	○		5	○		14	○		14	○		2	○		1	○		5	○		12	○		7	○		8	○	
12	○		6	○		8	○		6	○		5	○		4	○		4	○		14	○		5	○		7	○	
10	○		2	○		3	○		2	○		1	○		13	○		9	○		10	○		4	○		16	○	

Taula 8. Pauta de respostes per l'ull dret del participant 1 per l'anell de Landolt.

A la segona sessió s'ha seguit el mateix procediment, però aquesta vegada amb la tipografia nova, Optotípica_2. A la taula 9 es mostra un altre exemple de pauta de respostes, ara amb lletres. Igual que amb l'anell de Landolt, hi ha una permutació diferent per a cada ull de cada participant i per a cada mida de lletra.

OPTOTIPICA_2																													
logMAR 0,192			logMAR 0,092			logMAR -0,008			logMAR -0,058			logMAR -0,083			logMAR -0,108			logMAR -0,133			logMAR -0,158			logMAR -0,208			logMAR -0,308		
Nº	L	R	Nº	L	R	Nº	L	R	Nº	L	R	Nº	L	R	Nº	L	R	Nº	L	R	Nº	L	R	Nº	L	R	Nº	L	R
D	L	R	D	L	R	D	L	R	D	L	R	D	L	R	D	L	R	D	L	R	D	L	R	D	L	R	D	L	R
I	E	P	I	E	P	I	E	P	I	E	P	I	E	P	I	E	P	I	E	P	I	E	P	I	E	P	I	E	P
A	T	O	A	T	O	A	T	O	A	T	O	A	T	O	A	T	O	A	T	O	A	T	O	A	T	O	A	T	O
P	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S
13	a		14	m		19	e		4	u		5	z		12	n		9	l		24	v		22	s		16	x	
7	g		8	c		10	i		7	g		7	g		23	f		2	y		26	q		9	l		12	n	
22	s		22	s		23	f		26	q		13	a		4	u		14	m		17	r		12	n		1	j	
25	k		3	t		1	j		11	h		9	l		9	l		12	n		4	u		20	p		3	t	
4	u		12	n		11	h		8	c		18	w		25	k		17	r		23	f		25	k		7	g	
23	f		23	f		7	g		13	a		17	r		7	g		25	k		16	x		2	y		15	b	
11	h		2	y		13	a		16	x		20	p		8	c		6	d		15	b		4	u		14	m	
9	l		24	v		17	r		17	r		14	m		2	y		24	v		25	k		18	w		2	y	
24	v		13	a		15	b		18	w		8	c		17	r		10	i		11	h		5	z		17	r	
15	b		19	e		14	m		9	l		4	u		18	w		13	a		19	e		26	q		22	s	
3	t		25	k		20	p		21	o		25	k		6	d		7	g		14	m		6	d		9	l	
19	e		20	p		18	w		1	j		11	h		13	a		16	x		7	g		23	f		8	c	
5	z		17	r		3	t		24	v		19	e		26	q		21	o		5	z		16	x		5	z	
12	n		26	q		6	d		12	n		15	b		22	s		1	j		18	w		19	e		21	o	
6	d		4	u		26	q		20	p		24	v		1	j		22	s		13	a		14	m		23	f	
18	w		15	b		24	v		22	s		10	i		11	h		8	c		2	y		15	b		4	u	
2	y		11	h		2	y		5	z		26	q		14	m		15	b		6	d		21	o		20	p	
21	o		10	i		21	o		2	y		3	t		19	e		18	w		8	c		10	i		6	d	
8	c		6	d		25	k		10	i		1	j		15	b		5	z		20	p		13	a		19	e	
20	p		1	j		9	l		3	t		23	f		20	p		19	e		12	n		11	h		13	a	
14	m		7	g		22	s		15	b		2	y		16	x		26	q		10	i		1	j		26	q	
16	x		18	w		5	z		6	d		16	x		3	t		3	t		22	s		17	r		25	k	
17	r		5	z		8	c		19	e		12	n		5	z		20	p		3	t		24	v		11	h	
10	i		9	l		12	n		25	k		22	s		21	o		4	u		1	j		7	g		18	w	
1	j		21	o		16	x		23	f		6	d		10	i		11	h		21	o		8	c		24	v	
26	q		16	x		4	u		14	m		21	o		24	v		23	f		9	l		3	t		10	i	

Taula 9. Pauta de respostes per l'ull dret del participant 1 per la tipografia Optotipica_2.

3.3. Tractament de dades. Avaluació de la freqüència d'encert.

Estadísticament, a una presentació de 16 anells o 26 optotips, quan l'observador no els distingeix, és més probable encertar-ne un que no pas cap. Per tant, la probabilitat d'encert que s'ha donat, quan l'observador no distingeix l'estímul, per a l'anell de Landolt és 1/8, que és l'invers del número d'optotips diferents de què disposa el conjunt per a cada mida. Per a l'Optotipica_2, aquesta probabilitat és de 1/26.

Les freqüències d'encert s'han de corregir descomptant aquests encerts produïts per pura casualitat. Per tant, el càlcul dels encerts corregits (EC) s'ha fet a partir de la següent fórmula:

$$EC = \frac{E - (\frac{P}{N})}{P - (\frac{P}{N})}, \quad (17)$$

on E és el nombre d'encerts, N és el nombre total de presentacions i P és el nombre de presentacions diferents que conté cada nivell d'AV. Per exemple, el nombre total de presentacions per a la mida corresponent a AV logMAR = -0,208 és, per a l'anell de Landolt:

$$1_{ull} \cdot 8_{orientacions} \cdot 2_{presentacions(obs-lletra)} = 16 \text{ presentacions}$$

I per a l'Optotipica_2:

$$1_{ull} \cdot 26_{lletres} \cdot 1_{presentació(obs-lletra)} = 26 \text{ presentacions}$$

Per aquesta mida hi ha hagut un total de 14 encerts entre 16 presentacions per a l'anell de Landolt i 25 encerts entre 26 presentacions per a la tipografia d'estudi. La proporció d'encerts seria:

$$\text{Anell de Landolt} : \frac{14}{16} = 0,875 \quad \text{Optotipica}_2 : \frac{25}{26} = 0,963$$

Descomptant els encerts per casualitat, la proporció és:

$$\text{Anell de Landolt} : \frac{14 - \left(\frac{16}{8}\right)}{16 - \left(\frac{16}{8}\right)} = 0,857 \quad \text{Optotipica_2} : \frac{25 - \left(\frac{26}{26}\right)}{26 - \left(\frac{26}{26}\right)} = 0,960$$

En la taula següent es mostren les proporcions d'encert corregides per a l'ull dret del participant 1 per a l'anell de Landolt i per a la tipografia Optotipica_2, per a cada logaritme de mida.

(a) Anell de Landolt UD participant 1			(b) Optotipica_2 UD participant 1		
Log. mida	Resp. correcta	Freq. corregida	Log. mida	Resp. correcta	Freq. corregida
1,05	16	1,00	1,05	26	1,00
0,95	16	1,00	0,95	26	1,00
0,85	15	0,93	0,85	26	1,00
0,80	16	1,00	0,80	26	1,00
0,78	16	1,00	0,78	25	0,96
0,75	14	0,86	0,75	26	1,00
0,73	14	0,86	0,73	26	1,00
0,70	15	0,93	0,70	26	1,00
0,65	14	0,86	0,65	25	0,96
0,55	5	0,21	0,55	7	0,24

Taula 10. (a) Dades de freqüència d'encert corregida per a l'anell de Landolt a cada mida. (b) Dades de freqüència d'encert corregida per a l'Optotipica_2 a cada mida de lletra.

A partir del logaritme de la mida i la freqüència d'encerts corregida en el punt anterior, per a cadascun dels 26 ulls dels participants, s'ha ajustat una funció psicomètrica mitjançant la regressió logística, per descriure la relació entre el logaritme de la mida de l'optotip i la freqüència d'encerts corregida.

La figura 18 presenten dos exemples de les corbes ajustades a partir de la funció psicomètrica que s'ha generat amb les dades de la taula 10.

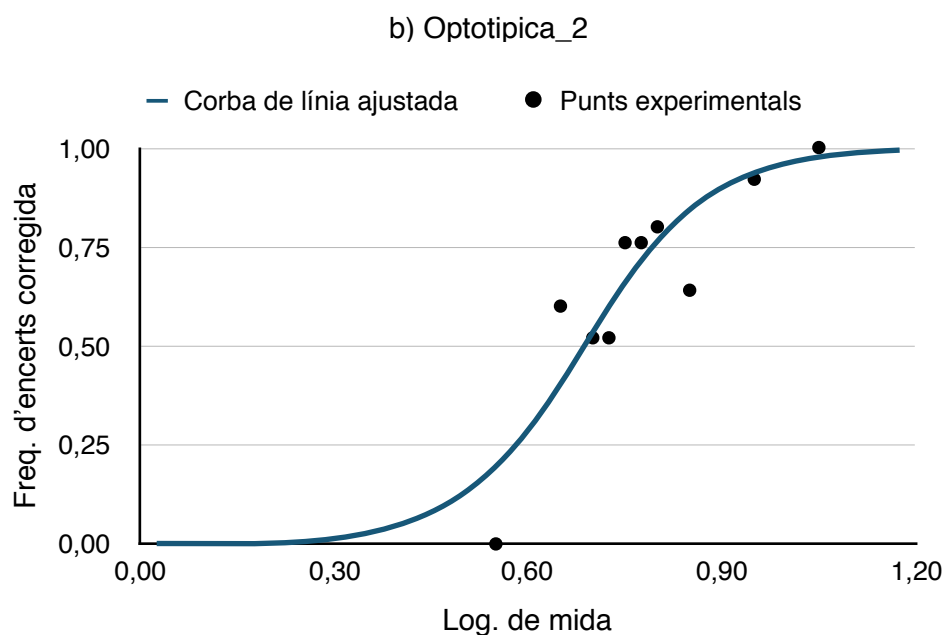
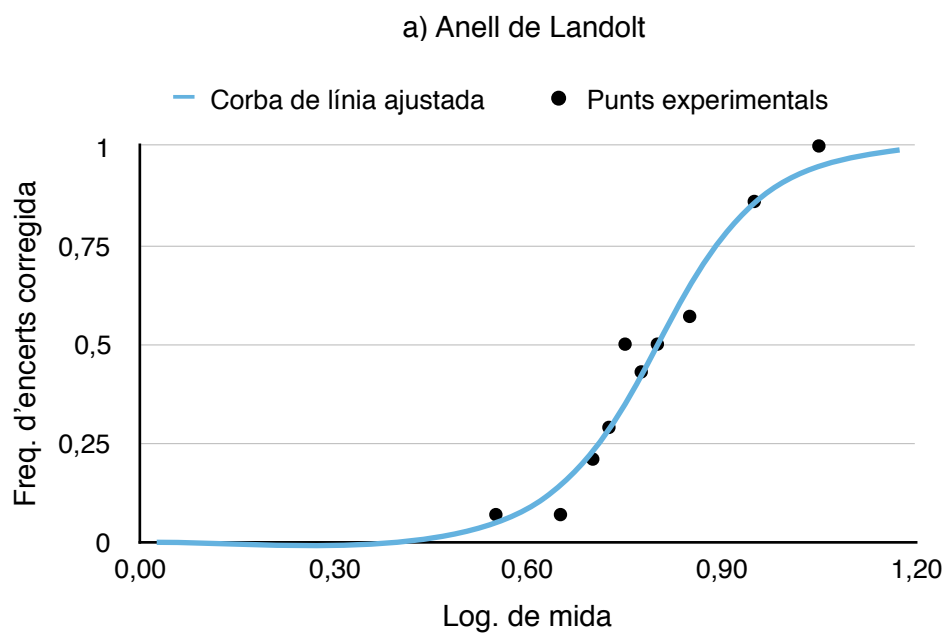


Figura 18. a) Representació gràfica de la freqüència corregida en funció del logaritme de mida (x) de l'anell de Landolt. La seva funció psicomètrica és: $\text{freq_corregida} = \exp(-9,4823 + 11,8556 \cdot x) / (1 + \exp(-9,4823 + 11,8556 \cdot x))$. b) Representació gràfica de la freqüència corregida a partir del logaritme de mida (x) de la Optotipica_2. La seva funció psicomètrica és: $\text{freq_corregida} = \exp(-7,06823 + 10,2956 \cdot x) / (1 + \exp(-7,06823 + 10,2956 \cdot x))$.

Les funcions psicomètriques resultants són les que es mostren a continuació.

Ull dret de l'observador 1 per a l'anell de Landolt:

$$freq. \text{ corregida} = \frac{\exp(-14,8561 + 24,9084 \cdot x)}{(1 + \exp(-14,8561 + 24,9084 \cdot x))}$$

Ull dret de l'observador 1 per a la Optotípica 2:

$$freq. \text{ corregida} = \frac{\exp(-25,0583 + 43,4645 \cdot x)}{(1 + \exp(-25,0583 + 43,4645 \cdot x))}$$

A partir la funció psicomètrica de cadascun dels ulls, per a l'anell de Landolt i per a la Optotípica, es pot obtenir el punt d'igualació subjectiva (PIS).

Així, si $\log T_L$ i $\log T_O$ són els valors del logaritme decimal de la mida de l'anell de Landolt 5s i de l'altura-x de la Optotípica_2 5s, respectivament, pels quals s'ha obtingut el valor del PIS, i k és la diferència entre els dos valors:

$$\log T_O - \log T_L = k \quad (18)$$

$$\frac{T_O}{T_L} = \frac{5s_O}{5s_L} = \frac{s_O}{s_L} = 10^k \iff T_O = T_L \cdot 10^k \quad (19)$$

La mida de l'anell equivalent seria:

$$T_L = T_O \cdot 10^{-k} \quad (20)$$

Donada una mida d'anell, si féssim servir la Optotípica_2 com a optotip, la menor mida d'altura-x reconeixible pel pacient seria $T_O = T_L \cdot 10^k$ i se li assignaria a l'Optotípica_2 el valor d'AV mesurat per a l'anell de Landolt (mida d'anell de Landolt equivalent), és a dir:

$$AV \log MAR \simeq \log \left(\frac{T_L}{5} \cdot \frac{10800}{\pi} \right) = \log \left(\frac{T_O \cdot 10^{-k}}{5} \cdot \frac{10800}{\pi} \right) \quad (21)$$

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

Una vegada realitzades les mesures de l'agudesia visual a cada participant, cal agrupar aquests resultats i analitzar-los.

Mitjançant un t-test, s'han comparat les mitjanes dels PIS, calculats a partir de cada funció psicomètrica. La mitjana dels PIS, per a l'anell i per a la lletra, i la diferència de parells (k) es troben especificats a la segona columna de la taula 12. El valor k , és el que ens indicarà si la nova tipografia és equivalent a l'optotip estandarditzat o no.

	N	Mesura	Desv. estàndar	Error est. de la mitjana
PIS Anell de Landolt	26	0,6724	0,0808	0,0158
PIS Optotipica_2	26	0,6127	0,0580	0,0114
Diferència (k)	26	0,0598	0,0548	0,0107
<i>Límit inferior 95% per la diferència mitja: 0,0414</i> <i>Prova t de diferència mitja = 0,05 (vs.>0,05): Valor T=0,91 Valor p=0,186</i>				

Taula 10. T-test parellada.

Amb un nivell de confiança del 95%, l'estimació de la mitjana dels PIS de l'anell de Landolt és de $0,6724 \pm 0,1616$ unitats logarítmiques, mentre que la de la nova tipografia, $0,6127 \pm 0,116$. Entre aquests dos valors hi ha una diferència de $0,0598 \pm 0,1096$ unitats logarítmiques.

Idealment, per considerar ambdós optotips com equivalents segons la norma, el valor de k hauria de ser menor de 0,05 unitats logarítmiques. Per aquesta mostra d'observadors, la diferència mitjana entre l'anell de Landolt i l'Optotipica_2 és quasi 0,01 unitats logarítmiques major que el valor establert. Com que:

$$10^{0,0598} = 1,1476 \approx 1,15 ,$$

resulta que per a una mida d'anell de Landolt, l'Optotipica_2 equivalent hauria de ser 1,15 vegades la mida de l'anell en el cas de la mostra.

La diferència k corresponent al conjunt de tota la població (representada per la mostra) hauria d'estar entre $0,0598-0,116$ i $0,0598+0,116$. Per tant, és possible que aquesta diferència sigui inferior a $0,05$. Això vol dir que no es pot descartar que els dos optotips siguin equivalents a nivell de població.

Tot seguit es mostren els encerts individuals, representats per punts, per a l'anell de Landolt (gràfica 1) i per a l'Optotipica_2 (gràfica 2). A partir dels punts experimentals s'ajusta la funció psicomètrica pel conjunt de tots els ulls dels observadors i es forma la corba ajustada, que també es veu representada en les dues gràfiques.

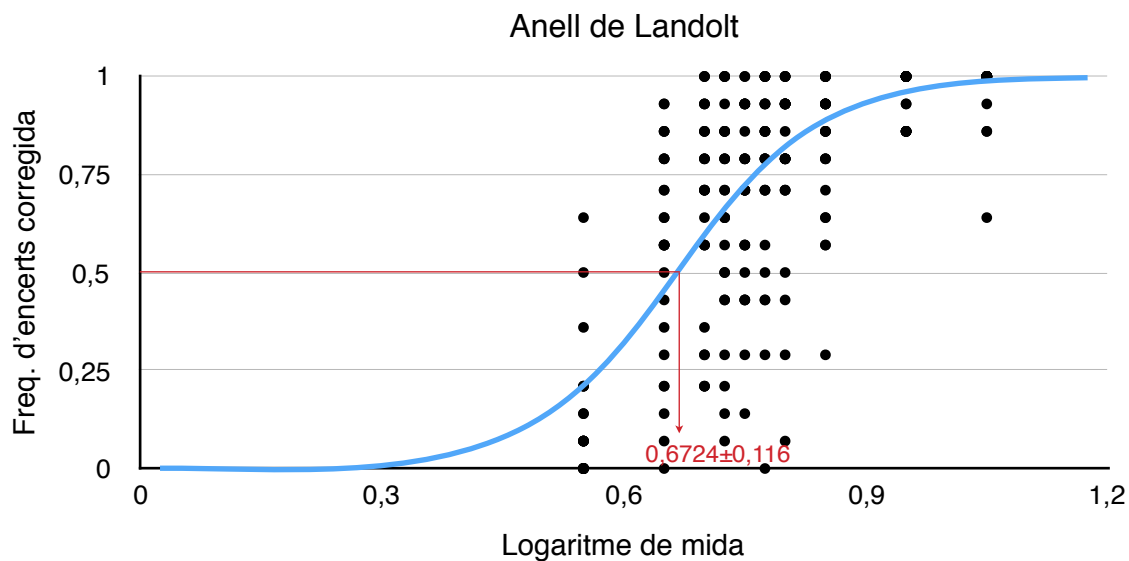


Figura 17. Representació gràfica dels encerts individuals representats per punts i la corba ajustada resultant de l'anell de Landolt.

En l'eix de les x trobem el logaritme de mida i en l'eix de les y la freqüència d'encerts corregida, és a dir, amb els encerts per pura casualitat descomptats. El pendent de la corba decreix ràpidament quan s'acosta a l'agudesa visual llindar de la mostra estudiada. El 50% d'encerts corregits s'aconsegueix per al logaritme de mida d'anell de $0,6724 \pm 0,116$.

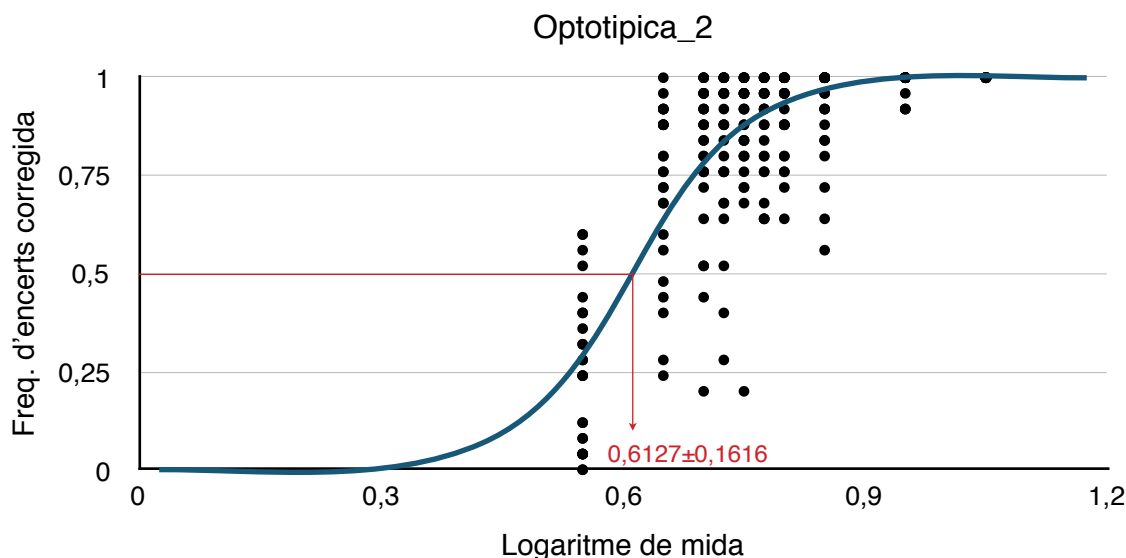
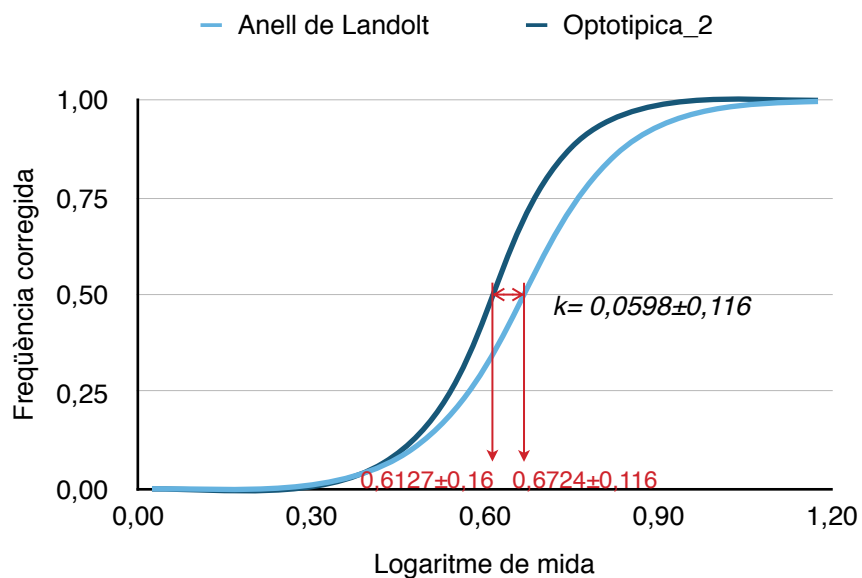


Figura 18. Representació gràfica dels encerts individuals representats per punts i la corba ajustada resultant de la tipografia Optotipica_2.

El 50% d'encerts, per a l'Optotipica_2, s'aconsegueix per al logaritme de mida de lletra de $6127 \pm 0,1616$. Això significa que els participants han estat capaços de respondre correctament optotips de mida inferior que amb l'anell de Landolt. Aquest optotip sempre és el mateix en totes les presentacions, la única diferència és que el detall crític (l'esclatxa), varia de posició. Les presentacions de l'Optotipica_2 en canvi, són totes de formes diferents, ja que en cada una hi ha una font diferent. La familiaritat amb les lletres i el reconeixement de les seves formes podria haver influït en la resposta dels subjectes, fent que les agudeses visuals avaluades per a l'Optotipica_2 siguin més altes que les de l'anell.

La proporció d'encerts corregits no baixa fins a 0 en cap cas. Les gràfiques indiquen que és convenient treballar amb anells i fonts de mida encara inferior a les més petites que s'han considerat en aquest estudi.



Gràfica 3. Gràfica-resum amb les corbes ajustades de l'anell de Landolt i l'Optotipica 2, amb els logaritmes de mida corresponents al 50% d'encerts i la k resultant.

A la gràfica 3 s'han agrupat les dades resultants de l'estudi. S'hi mostren les dues corbes ajustades, els PIS del símbol estandarditzat i de la tipografia d'estudi i finalment, la diferència de parells, k .

5. CONCLUSIONS

En aquest treball hem dut a terme la validació de la tipografia Optotipica_2 en front de l'optotip estàndard, l'anell de Landolt , seguint les directrius de la norma ISO 8596:2009 i les recomanacions de l'ICO 1984. Després d'estudiar la norma, s'ha decidit el número de presentacions de cada optotip així com les mides específiques a mostrar als observadors.

S'han presentant els optotips, de manera aïllada, en un monitor LCD d'ordinador amb l'ajut d'una presentació de power point, amb les transicions entre presentacions automatitzades.

Per a cada mida i cada optotip, s'han registrat les respostes dels observadors i calculat la freqüència d'encert descomptant les deguts a l'atzar. Amb les dades experimentals s'ha obtingut la funció psicomètrica per a cada pacient i optotip que s'ha ajustat individualment per la funció logística.

Amb els resultats obtinguts doncs, es pot afirmar que a mides iguals, l'anell de Landolt i l'Optotipica_2 no es poden considerar equivalents. No obstant, no hi ha motius per descartar l'equivalència, a nivell de població, de la nova tipografia amb l'anell de Landolt, per a una mesura estandaritzada de l'agudesa visual. Caldria fer alguns ajustaments necessaris en la planificació de nous estudis, com ara afegir més participants a l'estudi i incorporar mides inferiors d'optotips (corresponents a una AV inferior a $-0,308 \log\text{MAR}$). D'aquesta manera, podria decidir-se si la tipografia Optotipica_2 és equivalent a l'anell de Landolt.

No hi ha molts estudis publicats en els quals es validi una tipografia com l'Optotipica_2 i que n'expliqui el procés detalladament. Així doncs, des de la UPC hem intentat fer la validació única i exclusivament amb les recomanacions de l'ICO 1984 [8] i la norma ISO 8596:2009 [3]. Cal destacar doncs, que la dificultat a l'hora de realitzar aquest estudi recau en el fet de desxifrar i desglosar la informació continguda en els dos documents esmentats.

6. REFERÈNCIES I ENLLAÇOS BIBLIOGRÀFICS

- [1] <http://visual-field-software.com/Landolt-C-Eye-chart.html>
- [2] http://www.worldlibrary.org/articles/visual_acuity
- [3] UNE-EN ISO 8596:2009, "Óptica oftálmica. Ensayo de la agudeza visual. Optotipos normalizados y su presentación" (2009).
- [4] Lim, L. A., Frost, N. A., Powell, R. J., & Hewson, P. (2010). Comparison of the ETDRS logMAR, 'compact reduced logMar' and Snellen charts in routine clinical practice. *Eye*, 24(4), 673-677.
- [5] McGraw, P., Winn, B., & Whitaker, D. (1995). Reliability of the Snellen chart. *BMJ: British Medical Journal*, 310(6993), 1481.
- [6] Bailey, I. L., & Lovie, J. E. (1976). New Design Principles for Visual Acuity Letter Charts*. *Optometry & Vision Science*, 53(11), 740-745.
- [7] <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/pages/v1/ch033/056f.html>
- [8] Abril, H. C., Tàpias, M., & Torrents, A. Objective analysis of typographies by image processing based on the optotypes' guidelines.
- [9] ICO, "Visual acuity measurement standard", International Council of Ophthalmology, Visual Functions Committee, *Italian J. Ophthalmol.* III/I, 1-15 (1988)
- [10] Pointer, J. S. (2008). Recognition versus resolution: a comparison of visual acuity results using Two alternative test chart optotype. *Journal of optometry*, 1(2), 65-70.
- [11] Bailey, I. L., & Lovie-Kitchin, J. E. (2013). Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic. *Vision research*, 90, 2-9.
- [12] Sloan, L. L. (1951). Measurement of visual acuity: a critical review. *AMA archives of ophthalmology*, 45(6), 704-725.
- [13] Ferris, F.L., Kassov, A., Bresnick, G.H., and Bailey, I., "New Visual Acuity Charts for Clinical Research." *Am J Ophthalmol* 94:91, 1982.
- [14] <http://www.precision-vision.com/product-category/etdrs-clinical-trial/etdrs-charts/>
- [15] Grimm, W., Rassow, B., Wesemann, W., Saur, K., & Hilz, R. (1994). Correlation of Optotypes with the Landolt Ring-A Fresh Look at the Comparability of Optotypes. *Optometry & Vision Science*, 71(1), 6-13.
- [16] Mansfield, J. S., Legge, G. E., & Bane, M. C. (1996). Psychophysics of reading. XV: Font effects in normal and low vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 37(8), 1492-1501.
- [17] <https://typedecon.com/blogs/type-glossary/x-height/>
- [18] J.L. Martín Montesinos, Mas, Montse, Manual de Tipografía, Campgràfic editors, València (2001)
- [19] P. Baines, A. Haslam, Tipografía. Función, forma y diseño, Gustavo Gili, Barcelona, España (2003)

- [20] <http://ple-unatipoconclase.blogspot.co.ke/2015/01/andreu-balius-lanza-la-tipografia-upc.html>
- [21] <http://www.cidetec.ipn.mx/mtc/progacademico/lgac/si/Documents/31.pdf>
- [22] <http://www.sttmedia.com/characterfrequency-spanish>
- [23] <https://en.oxforddictionaries.com/explore/which-letters-are-used-most>
- [24] Sheedy, J. E., Bailey, I. L., & Raasch, T. W. (1984). Visual acuity and chart luminance. *Optometry & Vision Science*, 61(9), 595-600.
- [25] <http://www.ub.edu/pa1/node/71>

CONCLUSIONS